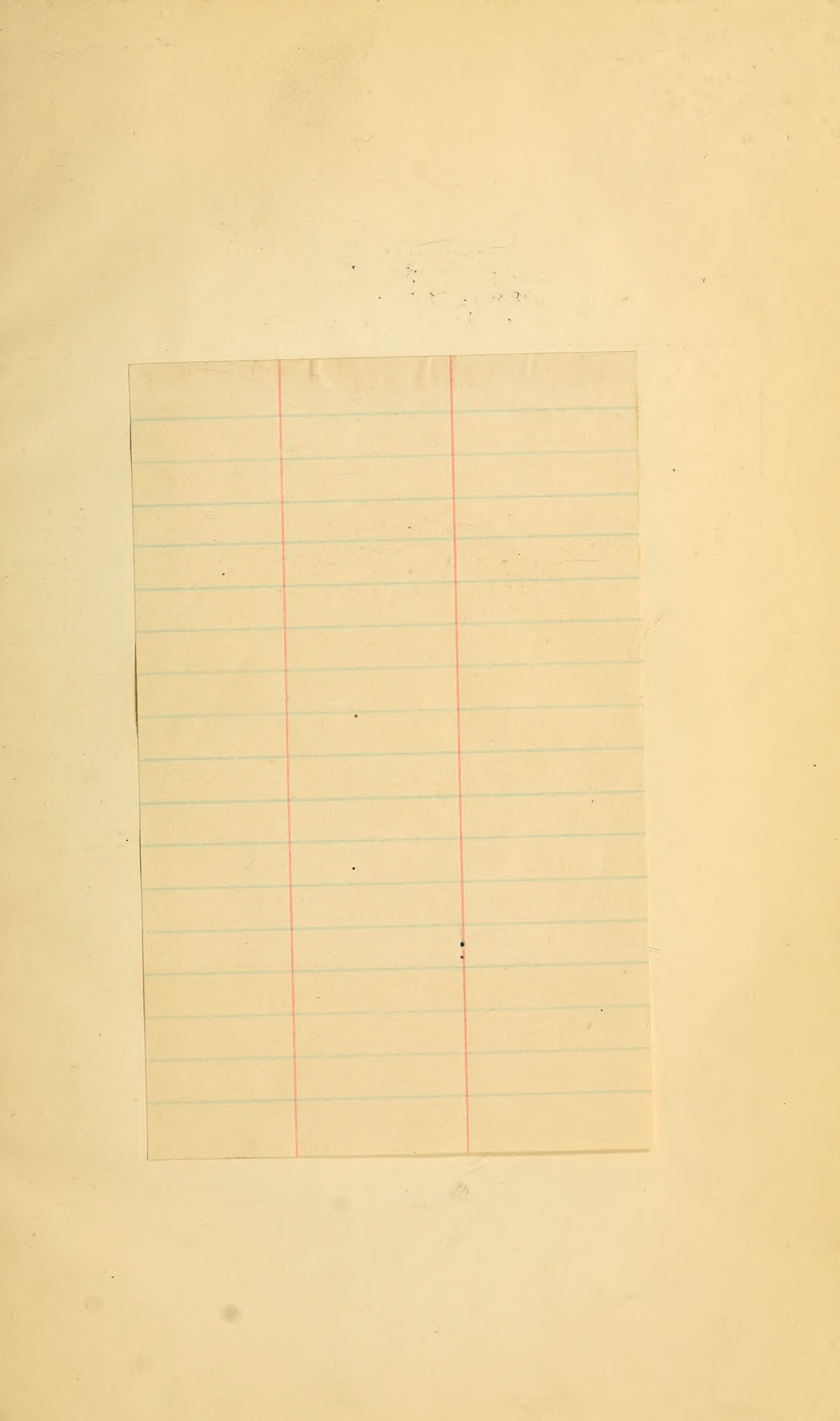



No. 3762.70
Th. 2
THE TRVSTEES OF THE
PVBLIC LIBRARY
LVX
OMNIVM
CIVIVM
OF THE CITY OF
BOSTON
1852 1878
GIVEN BY
Children of B. A. Gould



ELEMENTE DER PSYCHOPHYSIK.

ZWEITER THEIL.

ELEMENTE

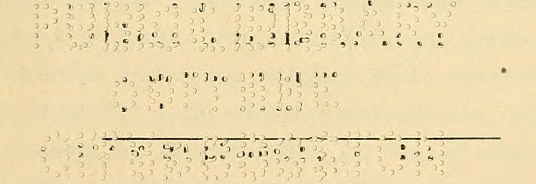
DER

PSYCHOPHYSIK

VON

GUSTAV THEODOR FECHNER.

ZWEITER THEIL.



LEIPZIG,

DRUCK UND VERLAG VON BREITKOPF UND HÄRTEL.

1860.

From the gift of the children of
B. A. Gould.
March 23. 1897.

21.

VORWORT ZUM ZWEITEN THEILE.

Den allgemeinen Vorbemerkungen im Vorworte zum ersten Theile halte ich nützlich, noch einige orientirende Bemerkungen über den Inhalt dieses zweiten Theiles im Besonderen zuzufügen.

Derselbe enthält, — abgesehen von einem historischen Kapitel, worin ich die Präcedenzien, den Ursprung und Gang dieser Untersuchungen verzeichnet habe, einigen Zusätzen und einem Register der in dieser Schrift gebrauchten neuen oder besonders definirten Ausdrücke, — in drei Hauptabtheilungen:

1) Formeln und Folgerungen des psychischen Masses;

2) specielle Untersuchungen über einige Sinnesgebiete;

3) innere Psychophysik.

Die erste dieser Abtheilungen enthält wesentlich nur die mathematische Darstellung und Verknüpfung dessen, was von Gesetzen und Thatsachen im ersten Theile vorliegt, und wird sonach dem Physiologen und Psychologen keinen neuen sachlichen Inhalt bieten. Auch wird man, nach einem Blicke auf die Masse Formeln, welche in dieser Abtheilung enthalten sind, wahrscheinlich fragen, was überhaupt damit eigentlich gewonnen ist. Ich habe diess bezüglich einer der Hauptformeln, der Massformel, kurz auf S. 28 dargelegt, und bei den anderen Formeln nicht verfehlt, auf die Anwendungen hinzuweisen, die sie versprechen oder schon gewähren. So geben die Vertheilungsformeln der Empfindung im 21. Kapitel zu manchen interessanten Folgerungen Anlass, die Anwendung der Unterschiedsmassformel auf die

Schätzung der Sterngrössen und der Lagenformeln auf die Beurtheilung der Verhältnisse constanter Fehler sind in besonderen Kapiteln (25. und 27.) besprochen, und die Auflösung, welche in Kap. 30. S. 179 ff. von dem Räthsel der Octave in der Tonlehre gegeben worden ist, darf vielleicht ein besonderes Interesse in Anspruch nehmen.

Das Hauptinteresse aber, was sich an diese Formeln für jetzt knüpft, bleibt immer das theoretische, ein bisher vermisstes Mass nicht nur für einfache Empfindungen begründet, sondern auch zur Repräsentation functioneller Verhältnisse derselben in Anwendung gesetzt zu sehen, und die Principien der Behandlung dieses Gegenstandes sind viel wichtiger, als die Formeln, welche nur Specialfälle der Anwendung der Principien sind. Die Principien, wie sie im Kap. 6. 7. 18. 22. 30. 31 und 32 dargelegt sind, dürften nach ihrem Wesentlichen auch für den der Mathematik wenig Kundigen verständlich sein, und auf ihrer Haltbarkeit beruht die Haltbarkeit der in dieser Schrift vorgetragenen Lehre. Was die Formeln anlangt, so können sie noch mancherlei Abänderungen unterliegen. Dass sie, so wie sie hier aufgestellt sind, überall nur eine Approximation sind, so lange man im Gebiete der äusseren Psychophysik davon Gebrauch machen will, habe ich schon früher, so wie gleich im Eingange dieses Theils erklärt, und hebe es hier nochmals mit besonderem Gewichte hervor. Diese Formeln werden für verschiedene Sinnesgebiete, ja für verschiedene Anwendungsweisen der Sinne verschiedener Modificationen oder Corretionen bedürfen, die aber, auch wenn sie schon mit grösserer Sicherheit festgestellt wären, als zur Zeit der Fall, bei der allgemeinen Behandlung des Gegenstandes hier nicht Platz finden konnten, nicht nur, weil sie für verschiedene Gebiete verschieden sein müssten*), sondern auch, weil sie für die innere Psychophy-

*) So zeigt das Weber'sche Gesetz in seiner Anwendung auf die Empfindlichkeit für Gewichtsunterschiede nach Th. I. S. 200. 197 eine Abweichung an der unteren Gränze, welche mit der bei Lichtunterschieden nach Th. I. S. 165 stattfindenden nicht gleicher Natur ist, und eine andere Berück-

sik unstreitig überhaupt wegfallen müssten. Aber auch für die äussere und hiemit experimentelle Psychophysik werden meines Erachtens die hier gegebenen Formeln das bleiben, an was die weitere Entwickelung und genauere Feststellung des mathematischen Theiles der Empfindungslehre anzuknüpfen hat, wie denn ein, bezüglich der Lichtempfindung jüngst schon gemachter Fortschritt, dessen ich in den Zusätzen zu gedenken habe, wirklich daran angeknüpft hat.

Dass ich den wichtigsten Formeln besondere Namen gegeben habe, kann man vielleicht als eine anspruchsvolle Spielerei tadeln; und in der That, wenn in allen mathematischen Untersuchungen jeder Formel ein besonderer Name gegeben werden sollte, würde die Mathematik bald mit der Botanik und Zoologie an Reichthum der Namen wetteifern; aber bei dem vielfältigen Rückbezuge, den ich auf die Hauptformeln zu nehmen hatte, und der künftig anderwärts wird darauf zu nehmen sein, falls die hier vorgetragene Lehre Platz greift, wird man den dadurch erlangten Vortheil der Kürze und Ersparung von Verweisungen nicht unerheblich finden.

Die zweite Abtheilung kann leicht Anlass geben, zu fragen, warum einige Gegenstände so ausführlich darin behandelt, und so Vieles, was gleichen Anspruch hätte, in einer Psychophysik behandelt zu werden, ganz übergangen ist. Meine Antwort ist einfach. Ich habe die Gegenstände, auf die sich von der hier vorgetragenen Lehre aus ein neues Licht werfen liess oder deren Behandlung in das Allgemeine dieser Lehre wirksam eingriff, so gründlich, als es mir möglich war, zu behandeln gesucht, wie denn diese Schrift ausgesprochenermassen im Ganzen mehr den Charakter der Untersuchung als des Lehrbuches trägt; im Uebrigen geglaubt, dass man es mir keinen Dank wissen würde, anderwärts behandelte Kapitel der Physiologie und Physik hier noch einmal wiederzufinden. Unstreitig lässt sich aus gewissem Ge-

---

sichtigung in den Formeln der äusseren Psychophysik fodern würde, um dadurch gedeckt zu werden.

sichtspuncte die ganze Nervenlehre und Sinneslehre in die Psychophysik hineinziehen, und wahrscheinlich werden Physiologie und Physik bei ihrem stets wachsenden Umfange künftig gern einer selbstständig constituirten Psychophysik manche Gränzgebiete überlassen, die sie jetzt noch in ihr Bereich ziehen; immer aber wird es für diese Lehre besser sein, sich auf jene zu stützen und sie zu ergänzen, als zu wiederholen.

An die Darstellung einiger Tastversuchsreihen in der zweiten Abtheilung habe ich eine vorgreifliche Vervollständigung dessen, was im ersten Bande über die Methode der mittleren Fehler gesagt worden ist, betreffs einiger Puncte geknüpft; da ich doch wohl erst werde abzuwarten haben, ob das Publicum überhaupt ein hinreichendes Interesse an dem ganzen Kreise dieser Untersuchungen nehmen wird, um die »Massmethoden«, auf die ich früherhin über das Detail der Methoden verwiesen und noch in so mancher Beziehung zu verweisen habe, erscheinen lassen zu können.

In der dritten Abtheilung würde man vergebens ein vollständiges und abgerundetes System der inneren Psychophysik suchen; ganze Hauptgebiete, die dereinst hinein gehören, fehlen. Hauptsächlich war es nur vorerst darum zu thun, allgemeine Gesichtspuncte für dieselbe und erste Eingangspuncte in dieselbe zu gewinnen, von welchen aus eine Forschung mit wachsender Sicherheit der Resultate möglich ist. Wenn ich nicht irre, tragen diejenigen, welche an die Spitze der inneren Psychophysik gestellt sind (Kap. 36. 37. 38. 39), diesen Charakter, und auch hier lege ich das Hauptgewicht auf die Principien. Von den Ausführungen, in denen ich mich versucht habe, habe ich nach und nach immer mehr weggelassen, und besorge auch jetzt noch, eher zu viel als zu wenig gegeben zu haben. Aber die Sache musste angegriffen werden, um zu zeigen, dass sie angriffsfähig ist, sollten auch manche Angriffspuncte sich durch passendere und manche Angriffe durch geschicktere oder triftigere in Zukunft ersetzen lassen. Aus die-

sem Gesichtspuncte bitte ich die wenigen Ausführungen der inneren Psychophysik zu betrachten. So ist die schematische Darstellung einiger der allgemeinsten und wichtigsten psychophysischen Verhältnisse, von der ich insbesondere im 42. und 45. Kapitel Gebrauch gemacht habe, von gewisser Seite nur ein Rahmen, von anderer ein Surrogat. Ich halte diese Darstellung für nützlich, ja für sehr nützlich, einer sonst in dieser Hinsicht bestehenden Leere gegenüber; doch muss dieser Rahmen einst mit Bestimmtheiten ausgefüllt, das Surrogat durch directere Darstellungen, die es bis jetzt zu vertreten hat, ersetzt werden.

Denjenigen, deren Interesse hauptsächlich ein empirisches ist, bietet dieser Band nur etwa im 34. 35 und 44. Kapitel einiges neue Erfahrungsmaterial. Die Beobachtungen über Contrastverhältnisse, auf welche Th. II. S. 106 verwiesen worden ist, haben, theils weil sie noch nicht vollständig redigirt waren, theils einen etwas zu grossen Umfang gewonnen haben, hier nicht mehr Platz finden können, sind aber ziemlich gleichzeitig mit diesem Bande in den Berichten der sächs. Soc. 1860 unter der Ueberschrift »Ueber die Contrastempfindung« erschienen. Ueber die, leider erfolglos gebliebene, nachträgliche Anstellung eines, Th. II. S. 174 in Aussicht gestellten, wichtigen akustischen Versuches berichte ich in den Zusätzen, welche ausserdem die Bezugnahme auf einige neuere wichtige Untersuchungen von Helmholtz enthalten.

Will man, so kann man als eine Ergänzung dieser Schrift eine demnächst erscheinende, den Inhalt einiger früheren Schriften theils resumirende, theils erweiternde, kleine populär gehaltene Schrift »Ueber die Seelenfrage« betrachten, welche die im 45. Kapitel vorliegender Schrift zum Schlusse nur kurz angedeuteten Aussichten, die sich von einer allgemeinsten Fassung der Psychophysik aus ins Gebiet der Religion und Naturphilosophie eröffnen, behandelt. Die Gesichtspuncte, aus denen es geschieht, ohne nach Form und Sache eine Exactheit zu beanspruchen, die hieher noch nicht reicht, dürften den exacten doch so nahe stehen, als es die

Natur der Aufgaben und unsere Erkenntnissmittel seither gestatten, und ich habe sie unter dem Namen Erfahrungsprincipien des Glaubens genauer zu formuliren versucht. Wenn nun schon die daselbst resumirten Ansichten bei ihrem Widerspruche gegen die jetzt herrschende gemeine sowohl als theologische und philosophische Weltansicht sich seither keines sonderlichen Anklanges zu erfreuen gehabt haben, und eben so wenig hoffen dürfen, einen solchen demnächst zu finden, lässt sich doch aus den Erörterungen des 45. und 46. Kapitels vorliegender Schrift leicht übersehen, dass sie nur die Vorwegnahme des dereinstigen Zieles einer auf der Grundlage der Principien dieser Schrift sich entwickelnden Psychophysik sind. Sie wird keine allgemeine werden können, ohne den geistigen Stufenbau der Welt über die jetzt angenommenen Gränzen hinaus zu erweitern, zu vertiefen und zu erhöhen. Diess sage ich zwar mit der Ueberzeugung, dass der Widerstand der Zeit gegen derartige Ansichten auch auf die Aufnahme dieser Psychophysik zurückwirken wird, welche dieselben als Folgerungen im Keime in sich trägt, aber eben so mit der Ueberzeugung, dass dieser Widerstand an dem festen Grunde und der künftigen Entwickelung dieser Lehre endlich scheitern wird.

Leipzig, den 18. August 1860.

INHALT.

Innere Psychophysik.

Historisches und Zusätze.

Fortsetzung der äusseren Psychophysik.

Formeln und Folgerungen des psychischen Masses.

XIV. Allgemeine Vorerinnerung. Die wichtigsten Eigenschaften der Logarithmen.

Indem ich daran gehe, die Formeln zu entwickeln, mittelst deren das psychische Mass vollziehbar ist, habe ich im Allgemeinen vorzubemerken, dass hiebei (abgesehen von einem Kapitel, worin beispielsweise eine andere Voraussetzung unterliegt) überall die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes und die Thatsache der Schwelle vorausgesetzt wird. Insofern erstere Voraussetzung nicht überall oder nur innerhalb gewisser Gränzen oder nur mit gewisser Annäherung im Sinnesgebiete zutrifft, wird diess natürlich auch von den darauf gegründeten Formeln gelten; inzwischen ist in Betreff der beschränkten Anwendbarkeit, welche diesen Formeln hienach nur zuzusprechen ist, an Folgendes rück- und vorzuerinnern.

1) Die Hauptverhältnisse, welche es im Gebiete der Sinnesempfindung beim gewöhnlichen Gebrauche der Sinne zu betrachten gilt, werden immer unter der Herrschaft der genauen oder angenäherten Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes stehen, und von Abweichungen kleiner Ordnung oder unter exceptionellen Fällen des Gebrauches der Sinne Anfangs, wo es eben nur gilt, die Hauptverhältnisse zu übersehen, abstrahirt werden können, wie diess schon Th. I. S. 66 f. geltend gemacht ward.

2) Die Abweichungen vom Weber'schen Gesetze an dessen unterer Gränze, welche vom Dasein innerer Ursachen der Empfin-

dung abhängen, und manche andere Abweichungen machen die auf das Gesetz gegründeten Formeln nicht ungültig, sondern lassen sich in solcher Weise in dieselben mit einführen, dass sie selbst ihrem Effecte auf die Empfindung nach durch diese Formeln repräsentirt werden können; was weiter zu erörtern in der Folge Gelegenheit sein wird.

3) Wo die auf das Weber'sche Gesetz gegründeten Formeln für die äussere Psychophysik gültig zu sein aufhören, verlieren sie doch nicht ihre Bedeutung für die innere, insofern die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für die psychophysischen Thätigkeiten unstreitig weiter reicht, als für die Reize, von welchen dieselben ausgelöst werden, wie Th. I. S. 67. 68 besprochen worden, und künftig Gegenstand weiterer Besprechung werden wird.

4) Auch wohin das Weber'sche Gesetz nicht reicht, vielmehr eine andere Beziehung zwischen constanten Empfindungszuwüchsen und variabeln Reizzuwüchsen im Aufsteigen von Empfindung und Reiz besteht, als welche durch das Weber'sche Gesetz ausgedrückt ist, reicht doch das, im 7. Kapitel des ersten Theiles erörterte, Princip, nach dem sich eben so gut auf jede andere Beziehung zwischen jenen Zuwüchsen Formeln des Masses gründen lassen würden; die folgenden Formeln aber können nun jedenfalls als das wichtigste Beispiel der Anwendung dieses allgemeinen Princips gelten; wie schon Th. I. S. 65 besprochen ist.

Da wir im Folgenden beständig mit Logarithmen zu thun haben, und hiebei manche Verhältnisse in Rücksicht und Anwendung kommen werden, die beim gewöhnlichen Gebrauche der Logarithmen nicht vorkommen, so dürfte Manchem, dem diese Verhältnisse nicht mehr geläufig sind, eine kurze Recapitulation derselben willkommen sein.

Wenn man eine ein- für allemal festgesetzte Zahl, welche die Grundzahl des logarithmischen Systems heisst, successiv zu verschiedenen Potenzen erhebt, so entstehen daraus verschiedene Zahlen. Die Potenz, auf welche die Grundzahl erhoben werden muss, um eine gegebene Zahl zu erhalten, heisst der Logarithmus dieser Zahl.

Im Systeme der gemeinen oder sog. Briggi'schen Logarithmen, für welches die gewöhnlichen Tafeln eingerichtet sind, ist

10 die Grundzahl und hienach z. B. 1 der Logarithmus von 10; 2 der Logarithmus von 100; 3 der Logarithmus von 1000 u. s. f.

Je nach der Wahl anderer Grundzahlen erhält man andere logarithmische Systeme; und während man zum praktischen Gebrauche beim Systeme der gemeinen Logarithmen stehen bleibt, ist in der mathematischen Analyse vielfach nöthig und wird sich auch im Folgenden vielfach nöthig machen, auf ein davon verschiedenes, das sog. natürliche, logarithmische System Bezug zu nehmen, dessen Grundzahl die, folgends stets mit e zu bezeichnende, Irrazionalzahl

$$e = 2,7182818284\ldots$$

ist. In diesem Systeme ist nicht 2, sondern 4,605170 der Logarithmus von 100, indem e, zu dieser Potenz erhoben, 100 giebt.

Ungeachtet die Logarithmen im gemeinen und natürlichen Systeme für dieselbe Zahl sehr verschieden sind, bleibt doch das Verhältniss derselben immer dasselbe, für welche Zahl man es auch in Betracht ziehen möge. Dieses constante Verhältniss zwischen dem gemeinen und natürlichen Logarithmus $\frac{\text{log comm.}}{\text{log nat.}}$ stimmt mit dem gemeinen Logarithmus der Grundzahl des natürlichen Logarithmus e überein; es wird der Modulus des gemeinen logarithmischen Systems genannt und soll künftig immer mit M bezeichnet werden. Sein Werth ist 0,434294481.... Man hat also

$$M = \frac{\text{log comm.}}{\text{log nat.}} = \text{log comm. } e = 0,434294481$$

und hienach:

$$\text{log comm.} = M \text{log nat.}; \text{ und log nat.} = \frac{\text{log comm.}}{M}$$

Demgemäss kann man den gemeinen Logarithmus irgendwelcher Zahl aus dem natürlichen erhalten, wenn man diesen mit M multiplicirt, und den natürlichen aus dem gemeinen, wenn man diesen mit M dividirt oder mit $\frac{1}{M}$ multiplicirt. Da bei einer solchen Verwandlung die gemeinen Logarithmen von M und $\frac{1}{M}$ von Nutzen sein können, setzen wir sie her:

$$\text{log comm. } M = 0,6377843 - 1.$$

$$\text{log comm. } \frac{1}{M} = 0,3622156.$$

Eine Tafel natürlicher Logarithmen, welche die Uebersetzung aus den gemeinen Logarithmen durch Division mit M erspart, fin-

det sich u. a. in Hülsse Sammlung mathematischer Tafeln. Tafel VI. p. 456.

Aus der allgemeinen Definition des Logarithmus folgt, dass man, um aus dem Logarithmus einer Zahl die Zahl zu finden, die Grundzahl zu der Potenz zu erheben hat, welche durch den Logarithmus der Zahl bezeichnet ist. Sei allgemein β die Zahl, γ ihr Logarithmus, mithin

$$\gamma = \log \beta$$

so hat man, wenn a die Grundzahl ist,

$$\beta = a^{\gamma}.$$

Die Gleichungen $\gamma = \log \beta$ und $\beta = a^{\gamma}$ fodern sich also wechselseitig; und unterscheiden sich nur dadurch, dass in der ersten γ als Function von β, in der zweiten β als Function von γ ausgedrückt ist; eine Beziehung, die zu beachten ist, da künftig wird darauf Rückgang zu nehmen sein.

In jedem logarithmischen Systeme ist der Logarithmus von 1 gleich Null, der Logarithmus der Grundzahl gleich 1, und hat der Logarithmus von 0 einen negativ unendlichen, der Logarithmus von $+\infty$ einen positiv unendlichen Werth.

In jedem logarithmischen Systeme haben die Logarithmen von Zahlen, die 1 übersteigen, positive Werthe, die Logarithmen von Brüchen, welche kleiner als 1 sind, negative Werthe.

Der Logarithmus einer Zahl und der Logarithmus des reciproken Werthes der Zahl, also z. B. $\log 4$ und $\log \frac{1}{4}$, $\log 3$ und $\log \frac{1}{3}$, allgemeiner $\log \beta$ und $\log \frac{1}{\beta}$ sind dem absoluten Werthe nach überall gleich gross und nur von entgegengesetztem Vorzeichen. Daher kann man auch statt $\log \frac{1}{\beta}$ setzen $-\log \beta$ und statt $\log \beta$ setzen $-\log \frac{1}{\beta}$.

Eben so sind der Logarithmus eines Bruches $\frac{\beta}{b}$ und der Logarithmus des reciproken Werthes dieses Bruches $\frac{b}{\beta}$, welches auch die Zahlen β, b sein mögen, einander im absoluten Werthe gleich und nur von entgegengesetztem Vorzeichen, so dass man auch statt $\log \frac{\beta}{b}$ setzen kann $-\log \frac{b}{\beta}$, und statt $\log \frac{b}{\beta}$ setzen kann $-\log \frac{\beta}{b}$.

Bekanntlich ferner kann man statt der Summe der Logarith-

men zweier Zahlen den Logarithmus ihres Productes setzen und umgekehrt; statt der Differenz der Logarithmen zweier Zahlen den Logarithmus ihres Quotienten und umgekehrt; statt des $n$fachen Logarithmus einer Zahl den Logarithmus der $n$ten Potenz der Zahl und umgekehrt; statt des Logarithmus der $n$ten Wurzel einer Zahl den $n$ten Theil des Logarithmus der Zahl $\frac{1}{n}\log\beta$ und umgekehrt.

Transformationen dieser Art werden im Folgenden unaufhörlich wiederkehren, und es ist daher nöthig, sich dieselben geläufig zu machen. Hier folgt die Zusammenstellung der Formeln, welche den Ausdruck derselben enthalten:

$$\log\frac{1}{\beta} = -\log\beta \qquad (1)$$

$$\log\beta = -\log\frac{1}{\beta} \qquad (2)$$

$$\log\frac{\beta}{b} = -\log\frac{b}{\beta} \qquad (3)$$

$$\log\beta + \log b = \log\beta b \qquad (4)$$

$$\log\beta - \log b = \log\frac{\beta}{b} \qquad (5)$$

$$n\log\beta = \log(\beta^n) \qquad (6)$$

$$\frac{1}{n}\log\beta = \log(\sqrt[n]{\beta}) \qquad (7)$$

Dabei ist wichtig, einen Ausdruck, wie

$$\log\frac{\beta}{b}$$

nicht mit dem Ausdrucke

$$\frac{\log\beta}{\log b}$$

zu verwechseln. Ersterer kann nach vorigen Sätzen in $\log\beta - \log b$ transformirt werden, letzterer lässt keine solche Transformation zu. Eben so ist $\log\beta\beta'$ nicht mit $\log\beta\log\beta'$ zu verwechseln. Ersterer Ausdruck kann in $\log\beta + \log\beta'$ transformirt werden, letzterer nicht.

Wenn eine Zahl sich nur wenig von 1 unterscheidet, und α die kleine positive oder negative Differenz derselben von 1 ist, so kann man, insofern sich die höheren Potenzen von α gegen die erste vernachlässigen lassen, im Falle gewöhnlicher Logarithmen setzen

$$\log(1+\alpha) = M\alpha,$$

wo M der Modulus ist, oder im Falle natürlicher Logarithmen einfach

$$\log(1+\alpha) = \alpha.$$

Die hieraus fliessende Substitution von $M\alpha$ oder α für $\log(1 + \alpha)$ ist oft von nützlicher Anwendung. Allgemein hat man, auch bei nicht sehr kleinen Werthen von α, im Falle gewöhnlicher Logarithmen

$$\log(1 + \alpha) = M\left\{\alpha - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^3}{3} - \frac{\alpha^4}{4} \dots\right\}$$

welche Formel durch Vernachlässigung der höheren Potenzen von α in die obige übergeht, und durch Substitution von 1 für M auch für natürliche Logarithmen anwendbar wird.

XV. Ein mathematisches Hülfsprincip.

Bei unserer Ableitung der psychischen Massfunction aus dem Weber'schen Gesetze wird uns ein mathematisches Hülfsprincip von Nutzen sein, was ich vor seinem allgemeinen Ausspruche zuerst an einigen Beispielen erläutern will*).

Logarithmen und zugehörige Zahlen schreiten einander nicht proportional vor. Wenn man aber die Differenz zweier einander nahen Zahlen und die Differenz der zugehörigen Logarithmen nimmt, so besteht merkliche Proportionalität zwischen den zu einander gehörigen Theilen der Differenz oder kleinen Zuwüchsen der einen Zahl und des zugehörigen Logarithmus, worauf bekanntlich das Interpolationsverfahren durch Hülfe der in den Logarithmentafeln beigefügten Differenzen beruht.

Eine Curve schreitet im Allgemeinen ihrer Länge nach nicht proportional mit der Abscisse vor. Nimmt man aber einen so kleinen Theil der Curve, dass er merklich mit einer Geraden übereinstimmt, so besteht für diesen kleinen Theil merkliche Proportionalität zwischen den zu einander gehörigen Zuwüchsen der Abscisse und der Länge der Curve.

Die Bewegung der Erde um die Sonne ist nicht gleichförmig, sondern in der Sonnennähe werden in derselben Zeit grössere Räume zurückgelegt, als in der Sonnenferne; kurz, der Fortschritt der Zeit und der zugehörige Fortschritt der Erde im Raume gehen einander im Ganzen nicht proportional. Aber in einem Drittel- und halben Tage wird merklich das Drittel und die Hälfte des Raumes zurückgelegt, der in einem ganzen Tage zurückgelegt wird.

*) Man findet dasselbe u. a. in Cournot's *Traité des fonctions* (*I. p.* 19) erläutert und mit besonderem Gewichte hervorgehoben.

Es ist nur dieses Drittel, diese Hälfte eben so wie der ganze an einem Tage durchlaufene Raum in der Sonnennähe grösser als in der Sonnenferne.

Das Licht erleuchtet eine Fläche in dem doppelten Abstande blos mit $\frac{1}{4}$ der Intensität, als im einfachen Abstande. Also die Stärke der Beleuchtung nimmt im Ganzen nicht im einfachen, sondern im quadratischen Verhältnisse des Abstandes des Lichtes von der beleuchteten Fläche ab. Fasst man aber nur eine kleine Verrückung des Lichtes ins Auge, so wird die Aenderung der Beleuchtung zur Aenderung des Abstandes nicht im quadratischen, sondern einfachen Verhältnisse stehen, das quadratische Verhältniss aber sich wieder insofern geltend machen, als bei doppeltem Lichtabstande die Beleuchtungsänderung für eine gegebene kleine Lichtverrückung weniger beträgt, als bei einfachem Lichtabstande.

Allgemein endlich: die beziehungsweisen Aenderungen, Zuwüchse zweier von einander abhängiger continuirlicher Grössen, von einem constanten Ausgangswerthe an oder innerhalb irgend eines Theiles der Grössen verfolgt, gehen einander merklich proportional, so lange sie sehr klein bleiben, wie auch das Abhängigkeitsverhältniss zwischen den Grössen beschaffen sein mag, und wie sehr der beziehungsweise Gang der Grössen im Ganzen und nach grösseren Theilen von dem Gesetze der Proportionalität abweichen mag.

Dabei hat man nicht ausser Acht zu lassen, dass, während die zu einander gehörigen Aenderungen zweier Grössen, von einem gegebenen Ausgangswerthe an verfolgt, einander proportional gehen, so lange sie sehr klein bleiben, doch das Grössenverhältniss dieser bezugsweisen Veränderungen sehr verschieden sein kann, je nachdem man dieselben von diesem oder jenem Ausgangswerthe, oder innerhalb dieser oder jener zusammengehörigen Theile beider Grössen verfolgt, wie schon oben bei den letzten Erläuterungsbeispielen geltend gemacht wurde.

Fragt man, was heisst sehr klein im Ausspruche des Principes? — sehr klein ist doch ganz relativ — so ist die hienach allerdings noch übrige Unbestimmtheit im Ausspruche des Principes durch folgende Erläuterung zu heben: Es lassen sich in jedem Falle die zu einander gehörigen Theile so klein nehmen, dass das Gesetz der Proportionalität zwischen den noch kleineren

Theilen derselben merklich besteht; oder, insofern auch der Ausdruck merklich noch eine Unbestimmtheit einschliesst, dass es so weit besteht, dass die Abweichung unter eine beliebige Gränze fällt. Wie klein sie aber dazu zu nehmen sind, kommt einerseits auf die functionelle Beziehung der Grössen, anderseits die Approximation an, die man verlangt, und Beides lässt keine allgemeine Regel zu. Absolut genau freilich wird die Proportionalität, abgesehen von specialen Fällen, nur innerhalb unendlich kleiner Theile sein, und die Approximation daran um so grösser sein, je mehr man sich dem Unendlichkleinen nähert.

Man habe Acht, dass das ausgesprochene Princip nicht nur an kein bestimmtes Abhängigkeitsverhältniss zwischen den gegebenen Grössen, sondern auch an keine bestimmte Natur dieser Grössen, d. h. der Objecte, auf welche der Grössenbegriff Anwendung findet, sondern nur an den allgemeinen Begriff continuirlicher Grössenabhängigkeit gebunden ist. Wo sich also eine stetige Grössenabhängigkeit vorfindet, da gilt es. Nun aber findet sich eine solche zwischen der Reizgrösse und Empfindungsgrösse vor. Wir wissen zwar bis jetzt noch kein bestimmtes Verhältniss anzugeben, nach welchem die Empfindung sich mit der Reizeinwirkung ändert, so lange wir noch kein Mass der Empfindung haben; aber wir wissen doch, dass die Empfindung sich in stetiger Abhängigkeit von der Reizeinwirkung ändert, dass die Lichtempfindung, Schallempfindung zu- und abnimmt nach Massgabe als der physische Lichteinfluss, Schalleinfluss zu- und abnimmt, gleich viel, in welchem Verhältnisse, und diess genügt, um unser Princip darauf anzuwenden.

Wir können daher unbedenklich den Satz aussprechen: die Aenderungen der Empfindung sind den Aenderungen der Reizgrösse merklich proportional, so lange die Aenderungen beiderseits sehr klein bleiben.

Gesetzt z. B. zwei Gewichte haben einen gewissen kleinen Unterschied, und dieser wird mit einer gewissen Stärke, Intensität, Deutlichkeit empfunden, so können wir nach unserem Principe sagen, dass ein doppelt so grosser Unterschied, von derselben Ausgangsgrösse an verfolgt, als merklich doppelt so gross, ein dreifacher als merklich dreimal so gross empfunden wird; was aber nur so lange gültig bleibt, als der Unterschied der Gewichte klein bleibt, und was nicht ausschliesst, dass ein gleich grosser

Gewichtsunterschied zwischen Gewichten von anderer Grösse mit ganz anderem Werthe empfunden wird, worüber das mathematische Princip keine Auskunft giebt, indess hier das Weber'sche Gesetz von der Erfahrungsseite her ergänzend eintritt.

Einen directen experimentellen Beweis, dass dem so sei, kann man nicht verlangen, da vielmehr die Aufgabe, die Grössenabhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung im Sinne mathematischer Principien festzustellen, die Anwendung der, ohne Rücksicht auf alles Experiment gültigen, mathematischen Principien der Grössenabhängigkeit, wozu das eben angeführte gehört, von selbst voraussetzt. Einen indirecten Beweis für die Anwendbarkeit dieses Principes auf psychische Grössen aber kann man darin finden, dass die mit Hülfe desselben festgestellte Abhängigkeit zwischen psychischen und physischen Grössen, zu deren Darlegung wir uns jetzt wenden, zu erfahrungsmässig bewährbaren Resultaten führt, wie sich im Verfolge zeigen wird.

XVI. Die Fundamentalformel und Massformel.

Ohne noch ein Mass der Empfindung zu haben, kann man doch den durch das Weber'sche Gesetz ausgesprochenen Fall, dass der Empfindungsunterschied sich gleich bleibt, wenn der relative Reizunterschied sich gleich bleibt, und den durch das mathematische Hülfsprinsip begründeten Satz, dass kleine Empfindungszuwüchse den Reizzuwüchsen proportional gehen, in Verbindung durch einen scharfen mathematischen Ausdruck darstellen.

Nehmen wir an, wie es bei den Versuchen zur Bewährung des Weber'schen Gesetzes im Allgemeinen der Fall, dass der Unterschied zweier Reize, oder, was dasselbe sagt, der Zuwuchs zum einen Reize sehr klein im Verhältnisse zu diesem sei. Der Reiz, zu welchem der Zuwuchs erfolgt, heisse β, der kleine Zuwuchs heisse $d\beta$, wo man den Buchstaben d nicht als eine besondere Grösse, sondern blos als Zeichen zu betrachten hat, dass $d\beta$ ein kleiner Zuwuchs zu β sei; schon jetzt kann man an das Differenzialzeichen dabei denken. So ist der relative Reizzuwuchs $\frac{d\beta}{\beta}$. Die Empfindung anderseits, die von dem Reize β abhängt, heisse γ, der kleine Zuwuchs der Empfindung, welcher bei Wachsthum

des Reizes um $d\beta$ entsteht, heisse $d\gamma$, wo d wieder nur als Zeichen kleinen Zuwuchses zu verstehen. $d\beta$ und $d\gamma$ sind jede auf eine Einheit ihrer Art, die willkührlich ist, bezogen zu denken.

Nach dem erfahrungsmässigen Weber'schen Gesetze bleibt $d\gamma$ constant, wenn $\frac{d\beta}{\beta}$ constant bleibt, welche absolute Werthe auch $d\beta$ und β annehmen; und nach dem *a priori* gültigen mathematischen Hülfsprincipe bleiben die Aenderungen $d\gamma$ und $d\beta$ einander proportional, so lange sie sehr klein bleiben. Beide Verhältnisse lassen sich im Zusammenhange durch folgende Gleichung ausdrücken

$$d\gamma = \frac{Kd\beta}{\beta} \qquad (1)$$

wo K eine (von den für γ und β zu wählenden Einheiten abhängige) Constante ist. In der That, man multiplicire $d\beta$ und β beide mit beliebigen, nur immer beide mit denselben Zahlen, so bleibt das Verhältniss ungeändert, mithin auch der Empfindungsunterschied $d\gamma$ constant. Diess ist das Weber'sche Gesetz. Man verdoppele, verdreifache den Werth der Aenderung $d\beta$ allein, ohne den Ausgangswerth β zu ändern, so nimmt auch die Aenderung $d\gamma$ den doppelten, dreifachen Werth an. Diess ist das mathematische Princip. Die Gleichung $d\gamma = \frac{Kd\beta}{\beta}$ genügt also vollständig zugleich jenem Gesetze und diesem Principe; und zwar genügt keine andere Gleichung beiden zusammen. Sie soll die Fundamentalformel heissen, indem die Ableitung aller weiter folgenden Formeln auf ihr beruhen wird.

Die Fundamentalformel setzt noch kein Mass der Empfindung voraus, gewährt aber auch kein solches, sondern drückt blos die gesetzliche Beziehung aus, welche zwischen kleinen relativen Reizzuwüchsen und Empfindungszuwüchsen statt hat. Sie ist mit einem Worte nichts Anderes, als der in Eins gefasste Ausdruck des Weber'schen Gesetzes und des mathematischen Hülfsprincipes durch mathematische Zeichen.

Es hängt aber mit dieser Formel durch infinitesimale Summation eine andere zusammen, welche eine allgemeine Grössenbeziehung zwischen der, aus Reizzuwüchsen summirten, Reizgrösse und der, aus Empfindungszuwüchsen summirten, Empfindungsgrösse aufstellt, in der Art, dass mit der Richtigkeit der ersten Formel unter Mitvoraussetzung der Thatsache der Schwelle solidarisch zugleich die Richtigkeit der letzten gegeben ist.

Vorbehaltlich der späteren genaueren Herleitung suche ich zuvörderst den Zusammenhang beider Formeln wie folgt in allgemeiner Weise verständlich zu machen.

Leicht kann man bemerken, dass die Beziehung zwischen den Zuwüchsen $d\gamma$ und $d\beta$ in der Fundamentalformel der Beziehung zwischen den Zuwüchsen eines Logarithmus und den Zuwüchsen der zugehörigen Zahl entspricht. Denn, wie man sich leicht, sei es aus der Theorie oder aus den Tafeln, überzeugen kann, so wachsen die Logarithmen um gleich viel, nicht, wenn die zugehörigen Zahlen um gleich viel wachsen, sondern wenn dieselben um einen gleichen Verhältnisstheil wachsen; mit anderen Worten, die Zuwüchse der Logarithmen bleiben gleich gross, wenn die relativen Zahlenzuwüchse gleich gross bleiben. So gehören z. B. folgende Zahlen und Logarithmen zusammen:

Zahl.	Logarithmus.
10	1,000000
11	1,0413927
100	2,000000
110	2,0413927
1000	3,000000
1100	3,0413927

wonach die Vermehrung der Zahl 10 um 1 eine ganz eben so grosse Vermehrung des zugehörigen Logarithmus mitführt, als der Zahl 100 um 10 und der Zahl 1000 um 100. Ueberall beträgt der logarithmische Zuwuchs 0,0413927. Ausserdem gehen, wie schon früher zur Erläuterung des mathematischen Hülfsprincipes angeführt wurde, die Zuwüchse der Logarithmen den Zuwüchsen der Zahlen proportional, so lange sie sehr klein bleiben. Sonach kann man sagen: es gelten für die Zuwüchse von Logarithmus und Zahl bezüglich zu einander ganz eben so das Weber'sche Gesetz und mathematische Hülfsprincip, als für die Zuwüchse von Empfindung und Reiz.

Nicht minder macht sich in der Beziehung zwischen Logarithmus und Zahl ganz eben so die Thatsache der Schwelle geltend, als in der Beziehung zwischen Empfindung und Reiz. Die Empfindung beginnt mit Werthen, die den Nullwerth übersteigen, nicht bei dem Nullwerthe, sondern bei einem endlichen Werthe des Reizes, dem Schwellenwerthe, und so beginnt ein Logarith-

mus mit Werthen, die den Nullwerth übersteigen, nicht bei dem Nullwerthe der Zahlen, sondern bei einem endlichen Werthe der Zahlen, dem Werthe 1, sofern der Logarithmus von 1 gleich Null ist.

Stehen nun nach Vorigem die Zuwüchse von Empfindung und Reiz in einem entsprechenden Verhältnisse, als die von Logarithmus und Zahl, steht auch der Punct, von dem an die Empfindung merkliche Werthe anzunehmen beginnt, in einer entsprechenden Beziehung zum Reize, als der Punct, von dem an die Logarithmen positive Werthe erlangen, zur Zahl, so wird man erwarten dürfen, dass auch Empfindung und Reiz selbst in einem entsprechenden Verhältnisse stehen, als Logarithmus und Zahl, welche wie jene als aus successiven Zuwüchsen summirt betrachtet werden können.

Hienach wäre die einfachste Beziehung zwischen beiden, die wir aufstellen können,

$$\gamma = \log \beta.$$

In der That wird sich bald zeigen lassen, dass unter Wahl angemessener Einheiten von Reiz und Empfindung die functionelle Beziehung zwischen beiden auf diese einfachste Form zurückkommt. Inzwischen ist sie nicht die allgemeinste, die sich aufstellen lässt, sondern eben nur unter Voraussetzung bestimmter Einheiten von Empfindung und Reiz, wovon später, gültig, und für die vorige indirecte und nicht strenge Ableitung eine directe und strenge zu verlangen.

Der Sachverständige übersieht sofort, wie diese zu bewirken ist, indem man nämlich die Fundamentalformel als Differenzialformel behandelt und integrirt. Im folgenden Kapitel findet man diess ausgeführt; hier sei es als geschehen vorausgesetzt, und an Denjenigen, welcher einer einfachen infinitesimalen Ableitung nicht zu folgen vermag, der Anspruch gemacht, das Resultat als mathematische Thatsache anzunehmen. Diess Resultat ist folgende Functionsformel zwischen Reiz und Empfindung, welche den Namen Massformel führen und jetzt weiter discutirt werden soll.

$$\gamma = k\,(\log \beta - \log b) \qquad (2).$$

In dieser Formel bedeutet k wiederum eine, von den gewählten Einheiten und zugleich vom logarithmischen Systeme abhängige, Constante, und b eine zweite Constante, welche den Schwellenwerth des Reizes β bezeichnet, bei dem die Empfindung γ beginnt und schwindet.

Nach der im folgenden Kapitel gegebenen Ableitungsweise der Formel fällt die Constante k mit der Constante K der Fundamentalformel zusammen, wenn man sich natürlicher Logarithmen bedient; indess bei Anwendung gewöhnlicher Logarithmen $k = \frac{K}{M}$ und $K = kM$ ist, wo M der Modulus des gemeinen logarithmischen Systemes in der S. 3 angegebenen Bedeutung ist.

Nach dem Satze, dass für den Unterschied der Logarithmen zweier Zahlen der Logarithmus ihres Quotienten substituirbar ist (vgl. S. 5. No. 5), kann man für obige Form der Massformel auch folgende, zumeist für Ableitung von Folgerungen bequemere, substituiren

$$\gamma = k \log \frac{\beta}{b} \qquad (3).$$

Aus dieser Form fliesst, dass die Empfindungsgrösse γ nicht als einfache Function des Reizwerthes β, sondern seines Verhältnisses zum Schwellenwerthe b, wo die Empfindung beginnt und schwindet, anzusehen ist. Dieser verhältnissmässige Reizwerth $\frac{\beta}{b}$ soll künftig der fundamentale Reizwerth oder Fundamentalwerth des Reizes heissen.

In Worte übersetzt, lautet die Massformel:

Die Grösse der Empfindung (γ) steht im Verhältnisse nicht zu der absoluten Grösse des Reizes (β), sondern zu dem Logarithmus der Grösse des Reizes, wenn dieser auf seinen Schwellenwerth (b), d. i. diejenige Grösse als Einheit bezogen wird, bei welcher die Empfindung entsteht und verschwindet, oder kurz, sie ist proportional dem Logarithmus des fundamentalen Reizwerthes.

Beeilen wir uns, bevor wir weiter vorschreiten, zu zeigen, dass die Massformel diejenigen Beziehungen zwischen Reiz und Empfindung, aus denen sie abgeleitet ist, auch richtig als Folgerungen wiedergiebt, und also rückwärts in denselben ihre Bewährung findet, sofern sie sich in der Erfahrung bestätigen. Wir erhalten darin zugleich die einfachsten Beispiele der Anwendung der Massformel.

Die Massformel ist begründet auf das Weber'sche Gesetz und die Thatsache der Reizschwelle; und beides muss also auch wieder aus ihr fliessen.

Was nun das Weber'sche Gesetz anlangt, so lässt es sich unter der Form, dass gleiche Empfindungszuwüchse gleichen rela-

tiven Reizzuwüchsen zugehören, durch die Differenzirung der Massformel gewinnen, sofern man dadurch auf die Fundamentalformel zurückkommt, welche den Ausdruck des Gesetzes in dieser Form enthält.

In der anderen Form, dass gleiche Empfindungsunterschiede gleichen Reizverhältnissen zugehören, lässt es sich ganz elementar wie folgt ableiten.

Seien zwei Empfindungen, deren Unterschied es zu betrachten gilt, γ und γ', und die ihnen zugehörigen Reize β und β'. Dann haben wir nach der Massformel

$$\gamma = k\,(\log \beta - \log b)$$
$$\gamma' = k\,(\log \beta' - \log b)$$

und mithin für den Empfindungsunterschied

$$\gamma - \gamma' = k\,(\log \beta - \log \beta')$$

oder, da $\log \beta - \log \beta' = \log \frac{\beta}{\beta'}$,

$$\gamma - \gamma' = k \log \frac{\beta}{\beta'},$$

Aus dieser Formel folgt, dass der Empfindungsunterschied $\gamma - \gamma'$ eine Function des Reizverhältnisses $\frac{\beta}{\beta'}$ ist, und gleich gross bleibt, welche Werthe auch β, β' annehmen mögen, wenn nur ihr Verhältniss ungeändert bleibt, was die Aussage des Weber'schen Gesetzes ist.

In einem späteren Kapitel werden wir auf vorstehende Formel, als eine der einfachsten Folgerungen der Massformel, unter dem Namen der Unterschiedsformel zurückkommen.

Was die Thatsache der Schwelle anlangt, welche darin ruht, dass die Empfindung nicht bei einem Nullwerthe, sondern endlichen Werthe des Reizes ihren Nullwerth hat, von wo an sie mit steigendem Reizwerthe erst merkliche Werthe anzunehmen beginnt, so liegt sie insofern in der Massformel enthalten, als γ den Werth Null nach der Massformel nicht annimmt, wenn $\beta = 0$, sondern wenn β gleich dem endlichen Werthe b ist, wie sich sowohl aus der Form (2) als (3) der Massformel ergiebt, aus (2) unmittelbar, aus (3) mit Rücksicht, dass, wenn β gleich b wird, $\log \frac{\beta}{b} = \log 1$ wird, und $\log 1 = o$ ist.

Natürlich werden nun auch alle Folgerungen des Weber'schen Gesetzes und der Thatsache der Schwelle zugleich Folgerungen unserer Massformel.

Aus ersterem Gesetze fliesst, dass jeder gegebene Zuwachs eines Reizes nach Massgabe weniger Zuwachs der Empfindung giebt, als der Reiz, dem er zuwächst, grösser ist, und bei hohen Reizgraden gar nicht mehr erheblich empfunden wird, indess er bei niederen ausnehmend erheblich erscheinen kann.

In der That führt der Zuwachs einer grossen Zahl β durch eine gegebene Grösse nur einen ohne Vergleich kleineren Zuwachs im zugehörigen Logarithmus γ mit, als die Vermehrung einer kleinen Zahl β um denselben Zuwachs. Wenn die Zahl 10 um 10 wächst, also auf 20 steigt, so wächst der zu 10 gehörige Logarithmus 1 auf 1,3010. Wenn aber die Zahl 1000 um 10 wächst, so wächst der zu 1000 gehörige Logarithmus 3 nur auf 3,0043. Erstenfalls hat sich der Logarithmus um etwa $\frac{1}{3}$, letzterenfalls nur etwa um $\frac{1}{700}$ seiner Grösse vermehrt.

Mit der Thatsache der Schwelle hängt die Folgerung zusammen, dass eine Empfindung um so weiter von der Merklichkeit entfernt bleibt, je mehr der Reiz unter seinen Schwellenwerth sinkt. Diese Entfernung der Empfindung von der Merklichkeit oder diese Tiefe derselben unter der Schwelle wird nach unserer Massformel eben so durch negative Werthe von γ repräsentirt, wie die Erhebung über dieselbe durch positive.

In der That übersieht man aus der Form (2) unmittelbar, dass, wenn β kleiner als b und mithin $\log\beta$ kleiner als $\log b$ wird, die Empfindung γ negative Werthe annimmt; und dasselbe fliesst aus der Form (3) nach der Betrachtung, dass $\frac{\beta}{b}$ zu einem ächten Bruche wird, wenn $\beta < b$; der Logarithmus eines ächten Bruches aber negativ ist.

Insofern wir Empfindungen, welche zwar von einem Reize angeregt sind, aber nicht hinreichend, um das Bewusstsein zu afficiren, kurz unbewusste, diejenigen, welche es afficiren, bewusste nennen, werden also die unbewussten Empfindungen durch negative, die bewussten durch positive Werthe in unserer Formel repräsentirt. Auf diese Repräsentation werden wir wegen ihrer besonderen Wichtigkeit, und vielleicht nicht jedem unmittelbar einleuchtenden Triftigkeit noch in einem besonderen Kapitel (Kap. 18) zurückkommen. Für jetzt will ich mich nicht weiter dabei aufhalten.

Unsere Massformel entspricht nach Vorstehendem der Erfahrung:

1) In den Gleichheitsfällen, wo ein Empfindungsunterschied bei Aenderung der absoluten Stärke der Reize sich gleich bleibt (Weber'sches Gesetz).

2) In den Gränzfällen, wo die Empfindung selbst, und wo ihre Aenderung bemerklich oder erheblich zu sein aufhört, Ersteres, wenn sie auf die Schwelle tritt, Letzteres, wenn sie so hoch gestiegen ist, dass ein gegebener Reizzuwachs nicht mehr erheblich gespürt wird.

3) In den Gegensatzfällen zwischen Empfindungen, welche die Merklichkeit übersteigen und welche die Merklichkeit nicht erreichen, kurz bewussten und unbewussten Empfindungen.

Hienach dürfte sie als wohlbegründet anzusehen sein.

Für den ersten Anblick könnte man geneigt sein, zu glauben, nicht blos die Thatsache der Reizschwelle, sondern auch der Unterschiedsschwelle müsse sich aus der Massformel folgern lassen, weil diese darauf gegründet sei. In der That ist das Weber'sche Gesetz und hiemit die Hauptunterlage der Massformel grossentheils nach der Methode der eben merklichen Unterschiede aus Versuchen über das Gleichbleiben eines eben merklichen Empfindungsunterschiedes, welcher mit der Unterschiedsschwelle zusammenhängt und nahe zusammenfällt, gefolgert. Aber, sehen wir näher zu, so ist es nur die gleiche Grösse dieses Unterschiedes bei gleichem relativen Reizunterschiede, nicht, dass die Merklichkeit erst bei einem endlichen Werthe dieses Reizunterschiedes eintritt, was zur Begründung der Fundamentalformel und hiemit Massformel gebraucht wird; daher auch der nur eben merkliche Unterschied bei dieser Begründung eben so gut durch einen durchschnittlich grösseren, als den eben merklichen, wie bei der Methode der richtigen und falschen Fälle, oder einen durchschnittlich kleineren, wie bei der Methode der mittleren Fehler, vertreten werden kann, insofern er eine Beurtheilung der Gleichheit zulässt. Von der anderen Seite tritt aber auch die Thatsache der Unterschiedsschwelle, richtig aufgefasst, nicht in Widerspruch mit der Massformel, sondern führt erforderlich berücksichtigt und in einen mathematischen Ausdruck aufgenommen, zu einer allgemeineren Formel (Unterschiedsmassformel), deren Begründung und Discussion einem späteren Kapitel vorbehalten bleibt, einer Formel, welche für besonders aufgefasste (sog. empfundene) Unterschiede zwischen Empfindungen dasselbe leistet, als die Massformel für absolute Empfindungen und deren Differenzen.

Das Parallelgesetz, nach welchem ein Empfindungsunterschied sich gleich bleibt, wenn sich die Reizbarkeit und hiemit der Schwellenwerth b für die verschiedenen Reize in demselben Verhältnisse ändert, ist eine Folgerung unserer Formel, wenn k dabei constant bleibt, nur dass nach einem

richtigen Gange die Constanz von k hiebei selbst erst umgekehrt aus dem Parallelgesetze gefolgert werden kann, wie unten gezeigt wird.

Mit der Massformel hat man nun ein allgemeines, nicht mehr blos für Gleichheitsfälle der Empfindung gültiges, Abhängigkeitsverhältniss zwischen der Grösse des fundamentalen Reizwerthes und der Grösse der zugehörigen Empfindung gewonnen, welches gestattet, aus Grössenverhältnissen des ersten das Wievielmal des letzten zu berechnen, womit das Mass der Empfindung gegeben ist.

Eine n-mal so starke Empfindung γ wird hienach nicht die sein, welche einem n-mal so grossen Werthe des äusseren oder äquivalenten inneren Reizes β zugehört, sondern welche einem solchen Werthe von β zugehört, der nach der Massformel einen n-mal so grossen Werth von γ giebt.

Gesetzt, die Empfindung γ bei einem bestimmten Fundamentalwerthe des Reizes ist gegeben, so wird γ auf den n-fachen Werth steigen, wenn der fundamentale Reizwerth $\frac{\beta}{b}$ auf die n-fache Potenz steigt, und auf $\frac{1}{n}$ ihres Werthes herabkommen, wenn aus dem fundamentalen Reizwerthe die n-te Wurzel gezogen wird.

Denn, was das Erste anlangt, so hat man, indem man auf beiden Seiten der Massformel mit n multiplicirt

$$n\gamma = nk \log \frac{\beta}{b} \quad (4).$$

Da aber dem n-fachen Logarithmus einer Zahl der Logarithmus der n-ten Potenz der Zahl substituirt werden kann, so kann man auch für $n \log \frac{\beta}{b}$ substituiren $\log \left(\frac{\beta}{b}\right)^n$ und erhält so:

$$n\gamma = k \log \left(\frac{\beta}{b}\right)^n \quad (5).$$

Nicht minder hat man, indem man auf beiden Seiten der Massformel mit n dividirt, oder, was auf dasselbe herauskommt, mit $\frac{1}{n}$ multiplicirt:

$$\begin{aligned} \frac{\gamma}{n} &= \frac{k}{n} \log \frac{\beta}{b} \\ &= k \log \left(\frac{\beta}{b}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (6) \\ &= k \log \sqrt[n]{\frac{\beta}{b}} \end{aligned}$$

sofern bekanntlich allgemein $x^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{x}$.

Ueberhaupt aber ist das Verhältniss zweier Empfindungen γ, γ', die den Reizen β, β' zugehören:

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{\log \frac{\beta}{b}}{\log \frac{\beta'}{b}} = \frac{\log \beta - \log b}{\log \beta' - \log b} \qquad (7)$$

also gleich dem Verhältnisse der Logarithmen der fundamentalen Reizwerthe.

In der Massformel und ihren Ableitungen ist sowohl die Grösse des Reizes als der Empfindung jede auf eine Einheit ihrer Art zu beziehen. Denn da Reiz und Empfindung ganz heterogener Natur sind, so können sie auch nur durch Einheiten ihrer Art besonders gemessen, nicht aber ihnen eine gemeinsame Einheit untergelegt werden. In der That erklären wir in unserem Masse der Empfindung diese nicht als ein Wievielmal des Reizes, sondern als ein Wievielmal einer als Einheit untergelegten Empfindungsgrösse derselben Art, und nur die Beziehung der Empfindung zu ihrer Einheit wird nach der Beziehung des Reizes zu seiner Einheit bestimmt, indem beide Beziehungen eine Function von einander sind, welche derartig ist, dass, wenn die eine Beziehung gegeben ist, die andere daraus zu folgern ist. Diese Function ist es, die durch unsere Massformel dargestellt wird.

Bei der an sich willkührlichen Wahl der Einheiten von Reiz und Empfindung können verschiedene Rücksichten bestimmen. Man kann die Einheiten von Reiz und Empfindung zusammentreffen lassen, d. h. die Einheit der Empfindung bei dem Reizwerthe annehmen, den man als Einheit des Reizes annimmt, kann sie aber auch eben so gut auseinanderfallen lassen, d. h. die Einheit der Empfindung bei einem anderen Reizwerthe als der Reizeinheit annehmen, da gar keine Nothwendigkeit vorliegt, beide zusammentreffen zu lassen. Es ändern sich nur mit jeder anderen Wahl der Einheiten die Constanten der Formel und hiemit die absolute Grösse der Zahl, durch welche eine Empfindungsgrösse ausgedrückt wird, ohne dass aber die Grössenverhältnisse der Empfindung, auf die es beim Masse allein ankommt, andere dadurch werden.

Verlangt man die einfachstmögliche Form der Massformel

$$\gamma = \log \beta \qquad (8)$$

in welcher $b = 1$, $k = 1$, so kann man die Einheiten von Reiz und Empfindung nicht auf denselben Punct verlegen. Denn, um $b = 1$

zu setzen, ist man an den Schwellenwerth des Reizes als Einheit gebunden; auf welchen man nicht zugleich die Einheit der Empfindung fallen lassen kann, da die Nullempfindung darauf fällt, welche keine Einheit gewährt. Man erhält aber die einfachste Form, wenn man die Reizeinheit beim Schwellenwerthe nimmt, wodurch alle Reizwerthe zu fundamentalen werden, die Empfindungseinheit aber bei einem fundamentalen Reizwerthe, dessen Logarithmus 1 ist, d. i. der gleich der Grundzahl der angewandten Logarithmen ist, also unter Anwendung gemeiner Logarithmen bei dem 10fachen, unter Anwendung natürlicher bei dem e-fachen (2,718 ... fachen) des Schwellenwerthes.

Dass $k = 1$ wird, wenn man die Empfindungseinheit bei einem fundamentalen Reizwerthe gleich der Grundzahl der angewandten Logarithmen setzt, findet sich leicht so: Sei allgemein die, in irgend einem Systeme genommene, Grundzahl a, so hat man, indem man die Empfindungseinheit bei $\frac{\beta}{b} = a$ setzt, also hierbei $\gamma = 1$ setzt, nach Substitution dieser Werthe in die Massformel

$$1 = k \log a$$

mithin

$$k = \frac{1}{\log a}.$$

Da nun in jedem Systeme der Logarithmus der Grundzahl also $\log a = 1$ ist, so erhält hiedurch k den Werth 1.

Diese Einheiten von Reiz und Empfindung, welche $b = 1$ und $k = 1$ machen und hiemit auf die einfachstmögliche Form der Massformel $\gamma = \log \beta$ zurückführen, sollen künftig die Fundamentaleinheiten heissen, und zwar gewöhnliche oder natürliche, je nachdem man dabei gewöhnliche oder natürliche Logarithmen voraussetzt. Die Reizeinheit bleibt beidesfalls dieselbe; aber die Empfindungseinheit ändert sich nach dem logarithmischen Systeme im Verhältnisse von 10 : 2,718 ....

Unter Voraussetzung der Fundamentaleinheiten kann man einfach sagen, die Stärke der Empfindung sei der Logarithmus der Stärke des Reizes, und man wird zwar je nach dem angewandten logarithmischen Systeme den Zahlausdruck für die Grösse der Empfindung verschieden, die absolute Grösse aber in Rücksicht der dabei unterliegenden verschiedenen Einheit gleich gross finden, wie man ja auch für die Länge 1 die Länge 12 setzen kann und mit der letzteren Zahl keine

grössere Länge bezeichnen wird, als mit der ersteren, wenn man unter 12 zwölf Zolle und unter 1 einen Fuss versteht.

Hienach wird z. B. unter Anwendung gewöhnlicher Fundamentaleinheiten eine Verdoppelung der Empfindung 1 stattfinden, wenn der Reiz sich verzehnfacht, da $\log 10 = 1$, $\log 100 = 2$. Aber man würde Unrecht haben, zu sagen, dass überhaupt jede Empfindung sich verdoppelt, wenn sich der Reiz verzehnfacht, sondern eben nur jene Empfindung 1, die dem Werthe $\beta = 10$ zugehört, d. i. einem Reize, der 10mal so gross als sein Schwellenwerth ist. Sollte die Empfindung 2 sich verdoppeln, welche zum Reize 100 gehört, so würde diess bei einem Reize stattfinden, dessen Logarithmus 4 ist, d. i. bei 10000, also hier der Reiz sich nicht verzehnfachen, sondern verhundertfachen müssen, u. s. f.

Auch wird, wenn die Empfindung 1 unter Anwendung gewöhnlicher Fundamentaleinheiten sich bei Verzehnfachung des Reizes verdoppelt, diess nicht mehr stattfinden, wenn man natürliche Fundamentaleinheiten anwendet, weil die Empfindung 1 hier einem niederen Reizgrade, nicht dem 10fachen, sondern 2,718...-fachen des Schwellenwerthes zugehört, und mithin einer geringeren absoluten Grösse der Empfindung entspricht. Diese wird sich verdoppeln, wenn der Reiz auf das 2,718...fache steigt.

Will man die Empfindungseinheit und Reizeinheit in demselben Puncte zusammentreffen lassen, so wird man die der vorigen nächst einfache Form der Massformel erhalten, wenn man die Reizeinheit und die Empfindungseinheit zugleich bei einem fundamentalen Reizwerthe nimmt, welcher gleich der Grundzahl der angewandten Logarithmen ist. Diese Form der Massformel ist

$$\gamma = \log \beta + 1 \qquad (9).$$

In der That, die Bedingung, dass $\gamma = 1$ ist, wenn $\frac{\beta}{b} = a$, giebt durch Substitution dieser Werthe in die Massformel

$$1 = k \log a$$

d. i. $k = 1$, weil $\log a = 1$.

Die Bedingung ferner, dass γ und β zugleich 1 sind, giebt durch Substitution von 1 sowohl für γ als β in die Form der Massformel (2) und Setzung von $k = 1$

$$1 = \log 1 - \log b.$$

Da aber $\log 1 = 0$, so erhält man $-\log b = +1$.

Substituirt man endlich diese Werthe $k = 1$ und $-\log b = +1$ in die allgemeine Form der Massformel $\gamma = k(\log \beta - \log b)$, so erhält man die obige Form.

Die einfachste Form der Massformel $\gamma = \log \beta$ kann überall

dienen und wird überall die einfachste Ableitung der Resultate gestatten, wo der Schwellenwerth des Reizes constant bleibt, indem man es dann immer in seiner Macht hat, die Fundamentaleinheiten anzuwenden, also die Einheit des Reizes constant bei b, und die der Empfindung bei dem fundamentalen Reizwerthe gleich der Grundzahl der angewandten Logarithmen zu nehmen. Wo jedoch Veränderungen der Reizbarkeit eintreten, oder die Möglichkeit derselben berücksichtigt werden soll, kann b nicht allgemein $= 1$ gesetzt werden; und wir werden uns daher in der Folge zwar häufig, aber nicht immer, der einfachsten Form der Massformel bedienen.

Wie leicht zu erachten, führt die Abhängigkeit der Empfindung vom Reize von selbst die umgekehrte Abhängigkeit des Reizes von der Empfindung mit, nicht insofern der Reiz seinem Dasein nach in Abhängigkeit von der Empfindung stände, aber insofern die Grösse des Reizes, welche nöthig ist, eine gegebene Empfindung zu erwecken, in Abhängigkeit von der Grösse der Empfindung steht. Dieses Abhängigkeitsverhältniss drückt sich mittelst Umkehrung der Massformel aus durch

$$\beta = b a^{\frac{\gamma}{k}} \qquad (10)$$

wo a die Grundzahl der angewandten Logarithmen ist, welche Formel sich unter Anwendung der Fundamentaleinheiten zu folgender vereinfacht:

$$\beta = a^{\gamma} \qquad (11).$$

Die Formel $\gamma = k \log \frac{\beta}{b}$ führt nämlich zuvörderst zu $\log \frac{\beta}{b} = \frac{\gamma}{k}$, diese nach S. 4 zu $\frac{\beta}{b} = a^{\frac{\gamma}{k}}$ und diese zu $\beta = b a^{\frac{\gamma}{k}}$.

In Betreff der Bedeutung und Verwendung der Massformel sind folgende Bemerkungen wichtig.

Sie ist eine Formel, welche nach ihrer Begründungsweise unmittelbar nur als massgebend für die Abhängigkeit der Intensität oder Stärke der Empfindung von der Intensität oder Stärke des Reizes gelten kann, wenn ein Reiz an einem Puncte oder in gleichem Verhältnisse an allen Puncten, wo er besteht, ab- oder zunimmt. Wenn wir von Messung der Empfindung durch den Reiz mittelst der Massformel sprechen, ist daher auch stets die Messung der Intensität der Empfindung nach der Intensität, nicht nach der Quantität des, über eine

gegebene zeitliche oder räumliche Ausdehnung sich erstreckenden Reizes damit gemeint.

Soll die Empfindung einfach als Function des Reizes mittelst der Massformel gemessen werden, so muss der Schwellenwerth des Reizes b bekannt und ebenso wie k bei den verschiedenen Reizgraden constant sein. Nun bleibt zwar k durch Reizeinwirkung ungeändert, wie ich unten besonders zeige, nicht aber b, indem sich durch Reizeinwirkung die Reizbarkeit ändert. Je mehr sie sich aber abstumpft, ein um so grösserer Werth des Reizes gehört dazu, die Empfindung auf die Schwelle zu heben, um so mehr steigt also b. Inzwischen hebt dieser Umstand die Anwendbarkeit der Massformel nicht auf, sondern erweitert sie vielmehr. Denn es zeigt sich hiemit, dass sie nicht blos massgebend ist für die Abhängigkeit der Empfindung vom Reize, sondern auch vom Grade der Empfindlichkeit, womit er aufgefasst wird. Eben so, wie wir in die Formel ein variables β einführen und die davon abhängige Aenderung von γ verfolgen können, können wir ein variables b einführen und hienach die Aenderungen von γ verfolgen.

Diess fodert natürlich dazu auf, das Gesetz der Aenderungen von b durch Reizeinwirkung genauer zu studiren, um dann b als Function der Stärke und Dauer des Reizes in die Formel einführen zu können. Zu diesem Studium eines an sich wichtigen Verhältnisses aber bietet die Massformel selbst den geeignetsten Anhalt dar. Wie es scheint, kommt b bei jedem nicht zu heftigen Reize mit verlängerter Dauer desselben zu einem Gränzwerthe, oder, bei rascher periodischer Wiederkehr desselben, zu einem mittleren Werthe, welche mit der Grösse des Reizes und der Dauer der Periode in einer, jedoch noch nicht ermittelten, gesetzlichen Beziehung stehen; und es werden durch Substitution einestheils des Anfangswerthes, anderntheils jenes Gränzwerthes oder mittleren Werthes in die Massformel Hauptfälle ihrer Anwendung gedeckt sein.

Wo der Schwellenwerth b nicht bekannt ist, mithin ein absolutes Mass der Empfindung durch die Massformel nicht stattfinden kann, lässt sich aber doch dieselbe zum Masse von Empfindungsunterschieden benutzen, indem, wenn man dieselbe für zwei verschiedene Empfindungen aufstellt, und den Unterschied der Ausdrücke nimmt, der Schwellenwerth b aus diesem Unterschiede

verschwindet, wie man schon S. 14 hat bemerken können, und in einem späteren Kapitel noch weiter wird erörtert werden.

Stellt man in der Massformel die Constante b als Function der anderen Grössen auf, so erhält man aus der Formel 11 die folgende

$$b = \frac{\beta}{a^{\frac{\gamma}{k}}} \qquad (12)$$

wenn a die Grundzahl der angewandten Logarithmen ist, wonach b dem Reize β proportional ist, der eine gegebene Empfindung γ mitführt. Hienach kann der reciproke Werth von b, d. i. $\frac{1}{b}$ geradezu als Massstab der absoluten Empfindlichkeit oder der im Sinne von Th. I. S. 151 verstandenen Reizbarkeit gelten, sofern auch diese nach früherer Begriffsbestimmung dem Reize reciprok ist, der eine gegebene Empfindung auslöst.

Hiebei ist vorausgesetzt, was in folgender Einschaltung bewiesen wird, dass k sich nicht mit b ändert.

Stellt man in der Massformel k als Function der anderen Werthe auf, so erhält man

$$k = \frac{\gamma}{\log.\frac{\beta}{b}} = \frac{\gamma}{\log\beta - \log b} \qquad (13)$$

wonach k der Empfindung γ proportional ist, die durch ein gegebenes fundamentales Reizverhältniss $\frac{\beta}{b}$ hervorgeht. Nun liesse sich allgemein gesprochen als möglich denken, dass, wenn der Schwellenwerth des Reizes b sich vermöge Abänderung der Reizbarkeit ändert, auch das fundamentale Reizverhältniss $\frac{\beta}{b}$ sich ändert, bei welchem eine gegebene Empfindungsgrösse γ entsteht. In diesem Falle würde voriger Formel zufolge der Werth k sich mit dem Werthe b ändern, davon abhängig sein, und man also einen constanten Werth von k in der Massformel nur so lange anwenden dürfen, als die absolute Empfindlichkeit oder Reizbarkeit, von welcher b abhängt, dieselbe bleibt. Von der anderen Seite aber ist allgemein gesprochen eben so denkbar, dass, wie auch der Schwellenwerth b sich ändere, doch die Empfindung dieselbe bleibt, wenn nur das fundamentale Reizverhältniss $\frac{\beta}{b}$ dasselbe bleibt. In diesem Falle ist k unabhängig von der Reizbarkeit und kann bei den verschiedensten Werthen von b dasselbe k in der Massformel angewandt werden.

Nur die Erfahrung kann diese wichtige Frage entscheiden, und sie entscheidet für die letzte Annahme. In dem Kapitel über das Parallelgesetz hat sich gezeigt, dass ein Unterschied zwischen zwei Reizen gleich deutlich erscheint, mögen sie mit ermüdeten Organen, wodurch der Schwellenwerth b sich ändert, oder mit nicht ermüdeten aufgefasst werden. Seien nun erstenfalls die zu einander gehörigen Werthe der Constanten b' und k', letztenfalls

b und k, und beidesfalls die Reize, deren Unterschied aufzufassen ist, β und β_1, so ist erstenfalls der Empfindungsunterschied

$$k'\left(\log\frac{\beta}{b'} - \log\frac{\beta_1}{b'}\right) = k'\log\frac{\beta}{\beta_1}$$

wovon sich die zweite Form ergiebt, indem wir die Differenz der Logarithmen in den Logarithmus des Quotienten umsetzen. Zweitenfalls ist der Empfindungsunterschied

$$k\left(\log\frac{\beta}{b} - \log\frac{\beta_1}{b}\right) = k\log\frac{\beta}{\beta_1}.$$

Sollen nun beide Unterschiede gleich sein, wie es die Erfahrung zeigt, so muss $k' = k$, d. i. der Werth von k unabhängig vom Werthe b sein*).

Man sieht hienach, dass das Parallelgesetz eine wesentliche Ergänzung des Weber'schen Gesetzes in der Feststellung der Massformel ist.

Hienach lässt sich aus der Massformel folgender beachtenswerthe Satz ableiten:

Wenn der Reizwerth b, bei welchem eine Empfindung auf die Schwelle tritt, sich in gegebenem Verhältnisse vergrössert oder verkleinert, so vergrössert oder verkleinert sich jeder Reizwerth, durch welchen eine Empfindung gegebener Stärke erzeugt werden soll, in demselben Verhältnisse. Wenn also z. B. Jemand, der sich der Taubheit nähert, einen $n$mal so starken Schall braucht, um denselben überhaupt noch zu hören, als ein Anderer mit gesunden Ohren, so wird er auch einen $n$mal so starken Schall brauchen, um ihn gleich stark als dieser zu hören, gleichviel, welche Stärke man hiebei zu Grunde legen mag. Denn wir haben nach der Massformel $\gamma = k \log\frac{\beta}{b}$. Soll nun bei $n$fachem Werthe von b der Werth von γ noch gleich gross ausfallen, als bei einfachem, so muss auch das $n$fache β angewandt werden.

Wir haben kein directes Mittel, die Stärke von Empfindungen bei verschiedenen Individuen zu vergleichen. Aber man sieht nicht ohne Interesse, dass wir durch Bestimmung des Schwellenwerthes b bei verschiedenen Individuen ein indirectes Mittel erhalten, welches für die ganze Skale der Empfindungsstärken auf einmal ausreicht.

Uebrigens zeigt die Form der Massformel, dass es für die Grösse der Empfindung auf dasselbe herauskommt, ob man β in einem gegebenen Verhältnisse verringert oder b in demselben

*) Ein später zu machender Unterschied zwischen Empfindungsunterschieden und empfundenen Unterschieden wird in dieser Deduction nichts wesentlich ändern.

Verhältnisse vergrössert denkt. Diess führt zu einer doppelten Repräsentation einer abgeänderten Reizbarkeit, und es kann unter Umständen sachgemässer sein, sich der einen oder anderen zu bedienen. Man kann eine verminderte Reizbarkeit ebensowohl durch eine verminderte Reizeinwirkung β bei gleichem Schwellenwerthe b repräsentiren, als durch einen erhöhten Schwellenwerth b bei gleicher Reizeinwirkung β. Ersteres kann man als Abstumpfung der Reizeinwirkung oder des Reizes, Letzteres als Abstumpfung der Reizbarkeit bezeichnen. Bei Uebersetzung des Reizes in die davon abhängige psychophysische Bewegung, welche aber erst in der inneren Psychophysik Platz zu greifen hat, ist nur die erste Repräsentation anwendbar, sofern eine verminderte Reizbarkeit voraussetzlich nur darin ruht, dass eine verminderte psychophysische Wirkung des Reizes stattfindet, die wir dann durch ein vermindertes β auszudrücken haben werden. Aber in der äusseren Psychophysik, auf deren Boden wir jetzt stehen, haben wir, um ohne Voraussetzung nur die factischen Verhältnisse durch die Formel zu repräsentiren, den Reiz β in seiner wirklichen Grösse in die Formel einzuführen, und die Variabilität seiner Wirkung nach Abänderung der Reizbarkeit durch eine Variation der Constante b darzustellen, wobei wir also auch im Folgenden zunächst stehen bleiben.

Nennen wir B den Werth von β, bei welchem die Einheit der Empfindung γ angenommen wird, so werden wir in den allgemeinen Ausdrücken, welche bisher für b und k gegeben wurden, den Werth von $\gamma = 1$ zu setzen haben, wenn wir zugleich $\beta = B$ setzen. So erhalten wir diese Constanten als Function des erfahrungsmässigen Werthes B, nämlich

$$b = \frac{B}{a^{\frac{1}{k}}} \qquad (14)$$

$$k = \frac{1}{\log. \frac{B}{b}} = \frac{1}{\log B - \log b} \qquad (15)$$

Diese Werthe für b und k lassen sich dann auch beliebig in die Massformel substituiren. Bei Substitution des Werthes von b hat man

$$\gamma = k \log \left(\frac{\beta}{\frac{B}{a^{\frac{1}{k}}}} \right) = k \log \frac{\beta a^{\frac{1}{k}}}{B}$$

$$= k \left(\log. \frac{\beta}{B} + \log a^{\frac{1}{k}} \right)$$

$$= k \left(\log. \frac{\beta}{B} + \frac{1}{k}\right)$$

$$= k \log \frac{\beta}{B} + 1 \qquad (16)$$

Die Substitution von $\frac{1}{k}$ für $\log a^{\frac{1}{k}}$ in dieser Herleitung, welche auf das schon S. 20 gefundene Ergebniss zurückführt, begründet sich dadurch, dass $\log a^{\frac{1}{k}} = \frac{1}{k} \log a$, und dass $\log a = 1$, weil a die Grundzahl.

Bei Substitution des Werthes von k findet man leicht

$$\gamma = \frac{\log. \frac{\beta}{b}}{\log. \frac{B}{b}} = \frac{\log \beta - \log b}{\log B - \log b} \qquad (17)$$

Inzwischen wird man die einfache Anwendung der Buchstaben b und k in der Massformel im Allgemeinen bequemer zur Ableitung von Folgerungen finden.

Zu den bei der Anwendung der Massformel zu berücksichtigenden Umständen gehört wesentlich das Vorhandensein innerer Empfindungsreize. Sofern solche vorhanden sind, ist ihre Grösse der Grösse der äusseren Reize hinzuzufügen, um den Werth von β zu erhalten, welcher in die Formel einzuführen ist. Es kann aber ihr Dasein und ihre Grösse überhaupt nur aus dem Vorhandensein und der Stärke von Empfindungen bei Abwesenheit von äusseren Reizen erschlossen und nach Vergleichung mit deren Wirkung in einem Aequivalente berücksichtigt werden. So haben wir zu jedem äusseren Lichtreize eine kleine Grösse hinzuzufügen und den so vermehrten Reiz in die Formel als β einzuführen, um das Resultat der Lichtempfindung vollständig zu erhalten, sofern sich nach mehrfacher früherer Erörterung schon ohne äusseren Reiz eine schwache Lichtempfindung im Dasein des Augenschwarz geltend macht, welche das Vorhandensein einer inneren Ursache der Lichtempfindung voraussetzt, die wir kurz als inneren Reiz bezeichnen. Lässt sich nun diese Zusatzgrösse zum äusseren Reize nicht genau bestimmen, so muss doch ihr Dasein berücksichtigt werden, da sie bei schwachen äusseren Lichtreizen den wichtigsten Einfluss gewinnt, und müssen verhältnissmässig dagegen starke äussere Lichtreize angewandt werden, wo ihr Einfluss vernachlässigt werden soll.

Von der anderen Seite ist in Rücksicht zu ziehen, dass manche Reize, abgesehen von der Abstumpfung der Reizbarkeit, die sie mitführen, einen ihre Einwirkung beschränkenden Mechanismus

auslösen, dessen Wirkung mit der Stärke der Reize wächst. Mindestens gilt diess von dem Lichtreize, sofern sich die Pupille durch den verstärkten Lichtreiz verengert, und es wäre sehr möglich, dass beim Gehöre und vielleicht auch bei anderen Sinnen etwas Entsprechendes stattfände. Natürlich kann der Reiz nur mit Rücksicht auf diese Beschränkung in die Massformel eingeführt werden, welcher man beliebig durch eine demgemässe Reduction von β oder Steigerung von b genügen kann.

Jeder Reiz irradiirt in einem gewissen Umkreise und jeder klingt während einer gewissen Zeit nach, nachdem sein Eindruck einmal geschehen ist. Auch hieraus können zu berücksichtigende Zuwüchse zu dem direct und momentan wirkenden Reize hervorgehen.

Noch in anderer Weise, nach Gesetzen des Contrastes nämlich, wirken vorgängige und mitgehende Reize abändernd auf die Grösse der Empfindung ein, die ein gegebener Reiz hervorruft. Soll mit Rücksicht hierauf die Massformel einfache Anwendung finden, so müssen entweder alle Reize sich in demselben Verhältnisse ändern, oder es müssen alle Reize ausser dem sich ändernden constant gehalten werden; wenigstens ist es wahrscheinlich, dass unter diesen beiden Voraussetzungen die einfache Anwendung der Massformel stattfinden kann. Das Weber'sche Gesetz nämlich bestätigt sich unter der ersten Voraussetzung beim Versuche mit den Wolkennuancen (Th. I. S. 140), unter der zweiten Voraussetzung bei Schätzung der Sterngrössen.

Endlich ist noch als eines, bei den Anwendungen der Massformel zu berücksichtigenden Punctes der Aufmerksamkeit zu gedenken. Vorläufig fodern wir für eine vergleichbare Anwendung der Massformel einen vergleichbaren Zustand der Aufmerksamkeit. Später wird sich zeigen, einmal, dass der verschiedene Grad der Aufmerksamkeit in gewissen Gränzen und in gewissem Sinne bei den Anwendungen der Massformel auf Empfindungen nicht in Betracht kommt, zweitens, dass die Massformel auf das Mass der Aufmerksamkeit selbst Anwendung finden kann. Hiezu jedoch müssen erst manche Erörterungen der inneren Psychophysik vorausgehen.

Man sieht nun wohl aus Vorstehendem, dass, so einfach die Massformel ist, doch ihre Anwendung keine zu einfache Sache ist. Und es bietet sich bei diesen Schwierigkeiten ihrer Anwendung

leicht die Frage dar, ob etwas und was überhaupt mit ihr gewonnen sei.

In dieser Hinsicht ist zu bemerken, dass das Hauptinteresse der Massformel nicht sowohl darin liegt, dass sie gestattet, Empfindungen wirklich genau in Zahlwerthen zu vergleichen, wozu nicht leicht ein wissenschaftlicher oder praktischer Anlass sein dürfte, als dass:

1) mit der durch sie begründeten, unter günstigsten Umständen zu verwirklichenden, principiellen Möglichkeit des Masses der Begriff desselben auf ein festes, klares, exactes Fundament gebaut und hiemit der Psychophysik die mathematische Unterlage überhaupt gesichert ist; dass 2) in der functionellen Verknüpfung der Werthe γ, β, b das Verhältniss von Reiz, Empfindung und Empfindlichkeit einen Ausdruck findet, welcher eine zugleich klare und scharfe Auffassung dieses Verhältnisses nach factischer Beziehung begründet, und der Untersuchung darüber klare und sichere Angriffspuncte gewährt; dass 3) nach dieser functionellen Beziehung sich auch ohne specielles Mass doch im Allgemeinen voraussehen lässt, wie sich mit Abänderung dieser und jener Verhältnisse der Gang und Stand der Empfindungsphänomene ändern muss, wie es mit den Gränzfällen und Wendepuncten derselben steht; also auch da, wo kein speciales Mass möglich ist, doch allgemeine Folgerungen möglich werden.

Diese Vortheile bieten sich schon auf dem Gebiete der äusseren Psychophysik dar, und in solchen vielmehr, als in der eben so selten zu brauchenden als zu verwirklichenden Möglichkeit der Ausführung des Masses ist die Wichtigkeit der Massformel auf diesem Gebiete zu suchen.

Jedoch das Hauptinteresse der Massformel ruht meines Erachtens überhaupt nicht in der äusseren, sondern in der inneren Psychophysik, sofern in der durch sie ausgedrückten Massbeziehung zwischen Reiz und Empfindung zwar nicht der Eintritt in die innere Psychophysik, aber so zu sagen der Schlüssel zu ihrer Thür gegeben ist.

In der That, wenn schon die Massformel sehr viel beitragen kann, uns in dem Gebiete der Beziehungen von Reiz und Empfindung zu orientiren, so wird doch nach allem Vorstehenden eine reine und strenge Anwendung derselben hier nie stattfinden können. Nur in gewissen, mehr oder weniger weiten, nie ganz

sicher zu bestimmenden, Gränzen, mit mehr oder weniger Approximation, dürfen wir Proportionalität zwischen Reiz und dadurch ausgelöster psychophysischer Thätigkeit erwarten, und wo diese Proportionalität gestört ist oder aufhört, ist die Anwendbarkeit der Massformel gestört oder aufgehoben. Die Hauptleistung der äusseren Psychophysik in Feststellung der Massformel ruht daher meines Erachtens darin, sie trotz aller Störungen so weit auf ihrem Gebiete begründet zu haben, dass die Uebersetzung in eine reine Anwendung auf dem Gebiete der inneren Psychophysik möglich und nothwendig wird.

Inzwischen stehen wir doch für jetzt mit der Massformel erst noch ganz in der äusseren Psychophysik, und haben ihre Leistungen und Beschränkungen zunächst auf diesem Boden in Betracht zu ziehen. Je vollständiger, getreuer, voraussetzungsloser aber diess geschieht, so besser werden wir dem Uebertritte in die innere Psychophysik damit vorarbeiten.

Die Stärke der Reize im Gebiete des Lichtes und Schalles ist direct durch ihre lebendige Kraft repräsentirbar, und von ihnen wie von anderen Reizen anzunehmen, dass sie nur als Reize wirken, sofern ihre lebendige Kraft eine lebendige Kraft psychophysischer Bewegung im Körper auslöst und mithin repräsentirt. Es hat hienach ein Interesse, unsere Formeln als Function der lebendigen Kraft des Reizes oder der dadurch ausgelösten Bewegung aufzustellen. Zunächst zwar erscheint diess nur unter dem Gesichtspuncte einer mathematischen Speculation; auch ist von vorn herein nicht zu entscheiden, ob Formeln, welche nach der Erfahrung zunächst nur für die lebendige Kraft ganzer Schwingungen aufgestellt werden konnten, auch übertragbar sind auf die lebendige Kraft der Einzelmomente von Schwingungen, und ob sich die Leistung einer ganzen Schwingung und sonst anderen Bewegungsformen für die Empfindung durch Summation dessen, was ihre einzelnen Momente nach diesen Formeln beitragen, richtig wiederfinden lässt, wodurch allein die Uebertragung auf Momente gerechtfertigt und von Nutzen erscheinen könnte. Da sich inzwischen eine solche Rechtfertigung durch ein späteres Kapitel zu ergeben scheint, so schicken wir die darauf bezüglichen Elementarformeln voraus.

Denken wir uns ein Theilchen von der Masse m, das sich in einem gegebenen Zeitmomente mit der Geschwindigkeit v bewegt, und mithin die lebendige Kraft $m\text{v}^2$ hat, vermöge deren es, sei es als Reiz auf ein Empfindungsorgan wirkt, oder selbst ein psychophysisch thätiges Element desselben darstellt, und hiemit so oder so einen Beitrag zur Totalempfindung giebt, die durch Summation der elementaren Wirkungen als hervorgehend anzusehen ist, wie diess künftig näher erläutert wird.

Sei b die Geschwindigkeit des Theilchens, bei welcher dessen Beitrag zur Gesammtempfindung erlischt; dann erhalten wir durch Substitution von $m\text{v}^2$ für β und von mb^2 für b in die Massformel

$$\gamma = k \log \frac{m\text{v}^2}{mb^2} = k \log \frac{\text{v}^2}{b^2} = 2k \log \frac{\text{v}}{b}$$

und in die Fundamentalformel

$$d\gamma = \frac{Kd\,.\,m\text{v}^2}{m\text{v}^2} = \frac{Kd\,.\,\text{v}^2}{\text{v}^2} = \frac{2\,Kd\text{v}}{\text{v}}$$

Die Gleichheit von $\frac{d\,.\,\text{v}^2}{\text{v}^2}$ mit $\frac{2\,d\text{v}}{\text{v}}$ in letzter Formel wird durch die Differenzialrechnung bewiesen, sofern $d\,.\,\text{v}^2$ als Differenzial genommen $= 2\,\text{v}d\text{v}$. Also haben wir kurz

$$\gamma = 2k \log \frac{\text{v}}{b}\,;\; d\gamma = 2K\frac{d\text{v}}{\text{v}}$$

welche Werthe noch mit dem Zeitelemente dt zu multipliciren sein werden, um einerseits den Beitrag γdt zu erhalten, den ein Reiz, welcher zur Zeit t die Grösse $m\text{v}^2$ hat, zur Empfindung in dem Zeitelemente dt giebt, anderseits den Empfindungszuwachs $d\gamma dt$, den die zur Zeit t stattfindende Empfindung erfährt, wenn der Reiz $m\text{v}^2$ im Zeitelemente dt um $d\,.\,m\text{v}^2$ wächst.

Aus vorigen Formeln fliessen folgende beachtenswerthe Folgerungen:

1) Die Masse der Theilchen geht in die Elementarformeln nicht ein.

2) Es ist gleichgültig, ob man die lebendige Kraft oder die einfache Geschwindigkeit in die Formeln einführt, indem sich letztenfalls blos die Constanten k und K verdoppeln.

3) Das Vorzeichen von v und mithin die Richtung der Geschwindigkeit ist einflusslos auf den Werth der Empfindung und des Empfindungsunterschiedes, indem stets gleiches Vorzeichen

im Zähler und Nenner der Ausdrücke auftritt, denn auch b werden wir homolog dem v, wozu es gehört, vorauszusetzen haben.

Den ersten Punct anlangend, so ist es unstreitig nicht ohne Interesse, und, wenn man will, dem Charakter eines geistigen Masses angemessen, dass die körperliche Masse aus diesen Formeln ganz verschwindet. Die elementare geistige Intensität hängt danach nur von Bewegung, nicht von Masse ab. Indessen darf man das, was für Elemente gilt, nicht auf Systeme übertragen. Wenden wir die Formeln auf den Gesammtreiz an, so können sich die Impulse, welche verschiedene Theilchen desselben äussern, theils für denselben Punct des empfindenden Organes summiren, wie denn zwei Glocken zusammen stärker als eine tönen, theils auf verschiedene vertheilen, wie denn zwei Sterne zwei Lichtpuncte im Auge erscheinen lassen, und beidesfalls wird die Gesammtgrösse der Empfindung mit der Zahl der reizenden Theilchen, hiemit der Gesammtmasse des Reizes, wachsen müssen. Wenden wir die Formeln auf das psychophysisch erregte Organ selbst an, so wird dasselbe von der Zahl der gereizten Theilchen gelten müssen. Auch wird unstreitig ein Theilchen von doppelter Masse mit gleicher Geschwindigkeit gleich einer Summe zweier Theilchen von einfacher Masse mit dieser Geschwindigkeit gelten müssen.

Die bisherigen Formeln sind nach der einfachsten und nächstliegenden Voraussetzung aufgestellt worden, dass die Abhängigkeit, welche nach der Erfahrung zwischen der Grösse der Empfindung und der lebendigen Kraft einer ganzen Schwingung besteht, übersetzbar sei in eine Abhängigkeit zwischen dem Beitrage, den ein einzelnes Moment einer Schwingung in einem Zeitelemente zur ganzen Empfindung giebt, und der lebendigen Kraft, die in diesem Zeitelemente besteht, wobei sich gezeigt hat, dass es wesentlich auf dasselbe herauskommt, ob wir das Quadrat der Geschwindigkeit oder die einfache Geschwindigkeit für β in die Formeln einführen. Man kann nun aber bemerken, dass bei Licht und Schall, auf deren Verhältnissen wir hiebei allein fussen konnten, genau proportional mit der Geschwindigkeit der oscillirenden Theilchen die Aenderungen der Geschwindigkeit wachsen, die im Laufe jeder Schwingung stattfinden; verdoppelt sich die Amplitude, so verdoppelt sich die Geschwindigkeit und verdoppelt sich die Aenderung der Geschwindigkeit in jedem Momente zugleich.

Und es ist hienach eben so viel Grund, daran zu denken, dass für den Reiz β die Aenderung der Geschwindigkeit als die Geschwindigkeit selbst in die Elementarformeln zu substituiren sei. Hiezwischen kann die Entscheidung nur danach kommen, welche von beiden Voraussetzungen der Aufgabe besser genügt, die erfahrungsmässige Abhängigkeit der ganzen Empfindung von der ganzen Bewegung durch Summation elementarer Beiträge herzustellen; und es giebt einen verhältnissmässig einfachen Fall, der sich zur Untersuchung dieser Frage wohl eignet, auf den ich aber erst künftig eingehe.

Sollte nun nach solcher Untersuchung die Annahme wirklich vorzuziehen scheinen — und in der That wird es der Fall sein — dass in die Fundamentalformel und Massformel für β statt der einfachen Geschwindigkeit die Aenderung der Geschwindigkeit, oder was wir künftig kurz Geschwindigkeit zweiter Ordnung nennen werden, zu substituiren sei, um sie zur Construction zusammengesetzter Empfindungsleistungen jeder Art tauglich zu machen, so würde diess übrigens in der Form der obigen Formeln nichts ändern, indem wir nur eben unter v statt einer Geschwindigkeit erster Ordnung eine solche zweiter Ordnung oder eine Geschwindigkeitsänderung zu verstehen haben würden, und die obigen drei Puncte würden eben so noch ihre Geltung behalten:

1) dass die Masse aus den Elementarformeln verschwindet;

2) dass es, abgesehen vom Werthe der Constanten k, K gleichgültig ist, ob man die Geschwindigkeiten zweiter Ordnung einfach oder im Quadrate verwendet;

3) dass der positive oder negative Werth derselben, d. h. ob sie als Beschleunigung oder Verzögerung wirken, keinen Einfluss auf das Empfindungsresultat hat.

Die genauere Untersuchung über die Frage selbst ist aber in der That erst später am Platze, da sich bis jetzt weder ein besonderes Bedürfniss noch auch ein Anhalt dargeboten hat, sie zu entscheiden.

Ich habe im Vorstehenden die Fundamentalformel und Massformel nach den Hauptpuncten, die dabei in Betracht kommen, nur in so weit discutirt, dass das Allgemeinste und der allgemeine

Zusammenhang dieser Puncte ins Licht tritt; doch wird auf die einzelnen derselben in den folgenden Kapiteln noch mit specielleren Erörterungen zurückzukommen, so wie die Anwendungen der Formeln zu verfolgen sein. Weiterhin komme ich auf eine Verallgemeinerung der Massformel und des ganzen Massprincipes, die ich hier vorweg kurz anzeige.

Die Massformel giebt die Abhängigkeit der Empfindung vom Reize. Als das Allgemeinere derselben kann eine Formel, welche ich die Unterschiedsformel nenne, gelten, wodurch die Abhängigkeit eines Empfindungsunterschiedes vom Reizverhältnisse gegeben wird, indem die Massformel als der besondere Fall der Unterschiedsformel angesehen werden kann, wo die eine beider Empfindungen, wozwischen der Unterschied besteht, Null wird. Die Formeln für Empfindungsunterschiede lassen sich weiter zu solchen für Unterschiede zwischen Empfindungsunterschieden oder Unterschieden höherer Ordnung verallgemeinern. Zwischen Empfindungsunterschieden ist selbst ein später durch Thatsachen zu erläuternder Unterschied zu machen, je nachdem sie in der Empfindung aufgehen oder besonders aufgefasst werden sollen, und für letztere die Einführung der Verhältnissschwelle in die Unterschiedsformel nöthig, wodurch die Unterschiedsmassformel entsteht. Endlich lässt sich das ganze Massprincip vom Weber'schen Gesetze unabhängig darstellen.

XVII. Mathematische Ableitung der Massformel.

Die im Eingange des vorigen Kapitels entwickelte Fundamentalformel

$$d\gamma = \frac{Kd\beta}{\beta}$$

stützt sich auf Versuche über Unterschiede, welche an der Gränze des Merklichen stehen. Hienach können $d\gamma$ und $d\beta$ in ihr als Differenziale betrachtet und behandelt werden. Durch Integration derselben findet man dann zunächst unter Voraussetzung natürlicher Logarithmen

$$\gamma = K \log \beta + C,$$

wo C die Integrationsconstante ist. Bestimmt man sie durch die Bedingung, dass die Empfindung γ bei dem Schwellenwerthe des Reizes $\beta = b$ verschwindet, so hat man

$$o = K \log b + C,$$

mithin $$C = -K \log b$$

und $$\gamma = K(\log \beta - \log b).$$

Da ein gewöhnlicher Logarithmus gleich dem, mit dem Modulus $M = 0{,}4342945$ multiplicirten natürlichen Logarithmus ist, so geht, unter Anwendung gewöhnlicher Logarithmen und Setzung von $\frac{K}{M} = k$, die vorige Formel über in

$$\gamma = k(\log \beta - \log b) = k \log \frac{\beta}{b}.$$

Diese Herleitung würde illusorisch werden, wenn die Thatsache der Schwelle nicht bestände, welche daher mit dem Weber'schen Gesetze zusammen erst die zulängliche Unterlage der Massformel und hiemit des absoluten Empfindungsmasses bildet. In der That, sollte die Empfindung statt bei einem endlichen Werthe vielmehr bei einem Nullwerthe des Reizes erlöschen, so würden wir für die Constante C einen negativ unendlichen Werth erhalten, und es wäre kein endlicher Ausdruck für einen absoluten Empfindungswerth zu finden; doch würde nichts hindern, Empfindungsunterschiede noch zu messen, in deren Ausdruck C verschwindet. Euler's Formel für Tonhöhen, und Steinheil's Formel für Sterngrössen, als auf der Thatsache der Schwelle nicht mit fussend, beziehen sich daher auch nur auf Empfindungsunterschiede.

Auch ohne Infinitesimalrechnung kann man die Massformel aus dem Weber'schen Gesetze unter Zuziehung der Thatsache der Schwelle ableiten, wenn man das Weber'sche Gesetz so ausdrückt, dass der Empfindungsunterschied derselbe bleibt, wenn das Reizverhältniss dasselbe bleibt. Und es verdient diese Ableitung namentlich insofern Beachtung, als sie in den Stand setzt, den bisherigen Gang umzukehren, d. h. statt von den Erfahrungsdatis aus erst zur Fundamentalformel zu gelangen, um daraus in vorhin angegebener Weise die Massformel durch Integration abzuleiten, vielmehr erst zur Massformel zu gelangen, um daraus die Fundamentalformel durch Differenzirung abzuleiten.

In der That, seien γ und γ' zwei Empfindungen, welche respectiv den Reizen β und β' zugehören, so sagt das Weber'sche Gesetz in der letztbemerkten Form, dass $\gamma - \gamma'$ constant bleibt, so lange $\frac{\beta}{\beta'}$ constant bleibt, oder dass

$$\gamma - \gamma' = f\left(\frac{\beta}{\beta'}\right)$$

wenn f das allgemeine Functionszeichen ist.

Ohne Zuziehung der Thatsache der Schwelle könnte nun die Function f beliebig genommen werden, die Bedingung des Weber'schen Gesetzes würde immer erfüllt sein. In der That würden folgende Formeln

$$\gamma - \gamma' = k\frac{\beta}{\beta'}$$
$$= k\left(\frac{\beta}{\beta'}\right)^2$$
$$= k\sin\left(\pi\frac{\beta}{\beta'}\right) \text{ etc.}$$

gleich gut die Bedingung erfüllen, dass $\gamma - \gamma'$ constant bleibt, so lange $\frac{\beta}{\beta'}$ constant bleibt, als die Formel

$$\gamma - \gamma' = k\log\frac{\beta}{\beta'}.$$

Nehmen wir aber die Bedingung hinzu, dass die Empfindung bei einem endlichen Werthe b des Reizes verschwindet, so ist nur die letztere Form möglich.

In der That, setzen wir in der Gleichung

$$\gamma - \gamma' = f\left(\frac{\beta}{\beta'}\right)$$

die Empfindung $\gamma' = 0$ und den zugehörigen Reiz $\beta' = b$, so geht sie über in

$$\gamma = f\left(\frac{\beta}{b}\right)$$

Entsprechend erhalten wir aus der Gleichung

$$\gamma' - \gamma = f\left(\frac{\beta'}{\beta}\right)$$

dadurch, dass wir $\gamma = 0$ bei dem Werthe $\beta = b$ setzen,

$$\gamma' = f\left(\frac{\beta'}{b}\right)$$

Diess giebt den Unterschied

$$\gamma - \gamma' = f\left(\frac{\beta}{b}\right) - f\left(\frac{\beta'}{b}\right)$$

welcher Unterschied dem anfänglich gefundenen

$$\gamma - \gamma' = f\left(\frac{\beta}{\beta'}\right)$$

gleich sein muss. D. h. man muss haben

$$f\left(\frac{\beta}{\beta'}\right) = f\left(\frac{\beta}{b}\right) - f\left(\frac{\beta'}{b}\right)$$

oder

$$f\left(\frac{\beta}{b}\right) = f\left(\frac{\beta}{\beta'}\right) + f\left(\frac{\beta'}{b}\right)$$

Nun kann nach einem Beweise, den man in Cauchy's *Cours d'Analyse algébr. p.* 109 *suiv.*, in Schlömilch's Handb. d. algebr. Analysis S. 86 und anderwärts findet, der Gleichung

$$f(xy) = f(x) + f(y)$$

nicht anders allgemein genügt werden, als dass man setzt

$$f(x) = k \log x$$
$$f(y) = k \log y$$
$$f(xy) = k \log xy$$

wo k eine Constante.

Substituirt man in vorigen Gleichungen $\frac{\beta}{\beta'}$ für x, $\frac{\beta'}{b}$ für y, mithin das Product beider $\frac{\beta}{b}$ für xy, so wird sie mit der obigen identisch, und es folgt daraus, dass man zu setzen hat

$$\gamma = f\left(\frac{\beta}{b}\right) = k \log \frac{\beta}{b}\ ;\ \gamma' = f\left(\frac{\beta'}{b}\right) = k \log \frac{\beta'}{b}$$

Sollten jedoch β, β' mit γ, γ' zugleich Null werden, also $b = 0$ sein, so würde diese Ableitung wegen der unendlichen Werthe, welche $\log \frac{\beta}{b}$, $\log \frac{\beta'}{b}$ annehmen, nicht stattfinden und die Function f würde beliebig genommen werden können.

Die logarithmische Function des Reizverhältnisses, auf die wir uns so mit Nothwendigkeit gewiesen finden, zeichnet sich ausserdem vor allen anderen Functionen des Reizverhältnisses, die man etwa versuchen könnte, derselben zu substituiren, durch eine Eigenschaft aus, die, insoweit sie sich durch Erfahrung constatiren lässt, nicht minder als die Bedingung der Schwelle dienen kann, durch Zutritt zu dem Weber'schen Gesetze die logarithmische Function sicher zu begründen; und ohne welche ebensowenig eine Rechnung mit Empfindungsgrössen auf Grund des Weber'schen Gesetzes stattfinden könnte, als ohne die vorige; indem das mathematische Axiom, dass man durch Summirung zweier Unterschiede etwas dem Totalunterschiede Gleiches erhält, nur eben mittelst der logarithmischen Function des Reizverhältnisses für Empfindungsunterschiede bestehen kann, sofern sie überhaupt Functionen des Reizverhältnisses sind.

Seien z. B. drei Reize in absteigender Ordnung der Grössen β, β', β'' mit den zugehörigen Empfindungen γ, γ', γ'' gegeben, so würde nach keiner, als unserer logarithmischen Function des Reiz–

verhältnisses der Unterschied, den wir zwischen den extremen Empfindungen γ und γ'' finden, gleich der Summe der Unterschiede ausfallen, die wir zwischen γ und γ', γ' und γ'' finden.

Erläutern wir es an Sterngrössen. Die drei Reize β, β', β'' sollen durch drei Sterngrössen 1., 2., 3. Klasse repräsentirt werden. Ist der Empfindungsunterschied irgend eine andere Function des Reizverhältnisses, als unsere logarithmische, so muss der Unterschied der Helligkeit, den man findet, wenn man mit dem Auge von der 1. zur 3. Grösse direct übergeht, grösser oder kleiner erscheinen, als der Unterschied der Helligkeit, den man findet, wenn man von der 1. zur 2. übergeht, plus dem Unterschiede, den man findet, wenn man von der 2. zur 3. übergeht, und es lassen sich zwischen die ganzen Grössen keine Bruchgrössen einschieben, deren Differenzen von den ganzen Nachbargrössen die Totaldifferenz derselben wiedergäben. Da aber die Astronomen wirklich Bruchgrössen nach diesem Principe auf das Urtheil des Auges hin einschieben, so muss das betreffende Axiom hier seine Gültigkeit haben. Dessgleichen könnte uns das Intervall der Octave nicht eben so gross als die Summe von Quinte und Quarte erscheinen, was aber eine Erfahrungsthatsache ist. Und wenn man sich vielleicht auch nicht getraut, diese Gleichheit des Totalunterschiedes der Empfindung mit der Summe der partiellen Empfindungen im Gebiete anderer Empfindungen eben so entschieden als Resultat der Erfahrung auszusprechen, als im Gebiete der Tonhöhen, so wird man immerhin zugestehen, dass noch weniger ein Grund in der Erfahrung für das Gegentheil vorliegt, ja es möchten ohnedem Widersprüche und Incongruenzen im Empfindungsgebiete eintreten, wovon sich nichts zeigt.

Man kann sich nun zuvörderst erst empirisch überzeugen, dass, wenn γ, γ', γ'' die drei Empfindungen sind, welche den drei Reizen β, β', β'' zugehören, nach keiner der oben S. 35 aufgestellten Functionen als der logarithmischen $\gamma - \gamma''$ gleich $(\gamma - \gamma')$ + $(\gamma' - \gamma'')$ erhalten wird. Gesetzt, es gälte die erste Form, so würde man haben

$$\gamma - \gamma' = k\frac{\beta}{\beta'}$$

$$\gamma' - \gamma'' = k\frac{\beta'}{\beta''}$$

Sollte nun $\gamma - \gamma'' = (\gamma - \gamma') + (\gamma' - \gamma'')$ sein, so müsste

$$k \frac{\beta}{\beta''} = k \frac{\beta}{\beta'} + k \frac{\beta}{\beta''}$$

sein, also

$$\frac{\beta}{\beta''} = \frac{\beta}{\beta'} + \frac{\beta'}{\beta''} \text{ oder } = \frac{\beta\beta'' + \beta'^2}{\beta'}$$

welches nicht allgemein, sondern nur unter der ganz particulären Voraussetzung, dass $\beta = \frac{\beta'^2}{(\beta' - \beta'')}$ der Fall sein könnte. Nicht minder würde man Ungleichungen für alle anderen Functionen finden, mit Ausnahme der logarithmischen. In der That, nach dieser hat man

$$\gamma - \gamma'' = k \log \frac{\beta}{\beta''}$$

$$(\gamma - \gamma') + (\gamma' - \gamma'') = k\left(\log \frac{\beta}{\beta'} + \log \frac{\beta'}{\beta''}\right) = k \log \frac{\beta}{\beta''}$$

Also Gleichwerthigkeit zwischen

$$\gamma - \gamma'' \text{ und } (\gamma - \gamma') + (\gamma' - \gamma'').$$

Allgemein, wenn

$$\gamma - \gamma' = f\left(\frac{\beta}{\beta'}\right);\ \gamma' - \gamma'' = f\left(\frac{\beta'}{\beta''}\right);\ \gamma - \gamma'' = f\left(\frac{\beta}{\beta''}\right)$$

wie diess nach dem Weber'schen Gesetze der Fall ist, und wenn dazu gefodert wird, dass $(\gamma - \gamma') + (\gamma' - \gamma'') = \gamma - \gamma''$, so muss

$$f\left(\frac{\beta}{\beta'}\right) + f\left(\frac{\beta'}{\beta''}\right) = f\left(\frac{\beta}{\beta''}\right)$$

sein, welcher Gleichung mit Rücksicht darauf, dass $\frac{\beta}{\beta''} = \frac{\beta}{\beta'} \cdot \frac{\beta'}{\beta''}$ ist, nach dem, was S. 36 bemerkt ist, nicht anders entsprochen werden kann, als wenn man setzt

$$f\left(\frac{\beta}{\beta'}\right) = k \log \frac{\beta}{\beta'}.$$

Eben so, wie es Bedingungen giebt, welche entschieden nöthigen, bei der logarithmischen Function stehen zu bleiben, so giebt es solche, durch welche diese oder jene der Functionen, welche oben S. 35 angeführt sind, entschieden ausgeschlossen wird. Sollte die Function diese Form haben

$$\gamma - \gamma' = k \frac{\beta}{\beta'}$$

so müsste ein Empfindungsunterschied nicht nur immer gleich gross sein, wenn das Reizverhältniss gleich gross ist, sondern auch in demselben Verhältnisse wachsen, als das Reizverhältniss wächst, unabhängig von der Grösse der Reize. Dem aber widerspricht die Erfahrung. Denn z. B. bei den Sterngrössen entspricht die Verdoppelung des Unterschiedes zweier aufeinander folgender Stern-

grössen, oder der Unterschied einer Sterngrösse von der je dritten keineswegs einer Verdoppelung des Verhältnisses der Lichtintensitäten, welche den aufeinander folgenden Sterngrössen zugehören.

Sollte anderseits die Form diese sein

$$\gamma - \gamma' = k \sin \left(\pi \frac{\beta}{\beta'}\right)$$

so müsste der Empfindungsunterschied mit steigender Intensität des einen Reizes, während der andere unverändert bleibt, periodisch zu- und abnehmen, was ebenfalls nicht der Fall.

XVIII. Die negativen Empfindungswerthe insbesondere. Repräsentation des Gegensatzes von Wärme- und Kälteempfindung.

Die Gesammtheit der Fälle, die unter der Massformel begriffen sind, lässt sich nach den Erörterungen des 16. Kapitels unter zwei Hauptfälle bringen, welche kurz dadurch zu bezeichnen sind, dass man sagt:

Einesfalls sei der fundamentale Reizwerth gleich 1, zweitenfalls grösser als 1, drittenfalls kleiner als 1.

Der erste Fall ist der, wo die Empfindung auf die Schwelle tritt, der zweite der, wo sie die Schwelle übersteigt, d. i. bewusste Werthe annimmt; der dritte der, wo sie unter der Schwelle und hiemit unbewusst bleibt, wobei die Grösse der negativen Werthe ebenso die Entfernung der Empfindung von dem Puncte, wo sie merklich wird, oder die Tiefe des Unbewusstseins misst, als die Grösse der positiven Werthe die Erhebung über diesen Punct oder die Stärke, mit der sie ins Bewusstsein tritt. So giebt unsere Massformel in einem Zusammenhange das Mass sowohl für den Bewusstseins- als Unbewusstseinsgrad einer Empfindung.

Die Repräsentation unbewusster psychischer Werthe durch negative Grössen ist ein fundamentaler Punct für die Psychophysik, dessen Triftigkeit man aber versucht sein könnte, in Frage zu stellen; indem sich eine andere Auffassung derselben entgegenstellen lässt, der ich um so nöthiger halte, etwas eingehend zu begegnen, als sie mir früherhin von einer achtbaren Autorität wirklich als die sachgemässere entgegengestellt worden ist; die Auffassung nämlich, dass durch einen negativen Empfindungswerth vielmehr der Werth einer Empfindung von negativem Charakter, wie ihn Kälte-Empfindung, Unlust-Empfindung der

Wärme-, der Lust-Empfindung gegenüber darbieten, auszudrücken, die Grösse aller unbewussten Empfindungen aber einfach mit Null zu bezeichnen sei.

Der durchschlagende Grund, die Sache nicht in solcher Weise zu fassen, ist der, dass der Zusammenhang der Thatsachen mathematisch so nicht repräsentirbar ist. Unsere Massformel repräsentirt eben so triftig den Gang der Empfindungen als Function des Reizes oberhalb der Schwelle, wie die Thatsache der Schwelle selbst. Soll die mathematische Repräsentation der Thatsachen auch für geringere Reizwerthe fortbestehen, so muss man die zugehörigen negativen Empfindungswerthe selbstverständlich auf das beziehen, was denselben in der Erfahrung entspricht, das sind aber nicht entgegengesetzte Empfindungen, sondern fehlende Empfindungen, in solcher Weise, dass grösseren negativen Werthen eine wachsende Entfernung von der Spürbarkeit oder Wirklichkeit der Empfindung entspricht.

Auch widerspricht es dem Geiste der Mathematik nicht, diess so zu fassen. Denn mathematisch kann der Gegensatz der Vorzeichen ganz eben so gut auf den Gegensatz der Wirklichkeit und Nichtwirklichkeit als der Zunahme und Abnahme oder der Richtungen bezogen werden. Es kommt überall auf die Natur dessen an, was es zu bezeichnen gilt. So bedeutet er im Systeme rechtwinkliger Coordinaten einen Gegensatz der Richtungen auf Linien, im Systeme der Polcoordinaten den Gegensatz der Wirklichkeit und Nichtwirklichkeit einer Linie, so aber, dass grössere negative Werthe eine grössere Entfernung von der Wirklichkeit bedeuten, als kleinere. Es kann nicht das geringste Hinderniss sein, das, was für den Radius vector als Function eines Winkels gültig ist, auf die Empfindung als Function eines Reizes zu übertragen.

So wie wir nun in der reinen Mathematik das Reale und Imaginäre im Zusammenhange zu fassen und zu behandeln haben, um den Zusammenhang und die Verhältnisse des Realen selbst triftig darzustellen, und Schlüsse aus dem Imaginären auf das Reale nicht minder streng zutreffen, als solche, welche sich blos im Realen bewegen, ist es auch in der psychophysischen Verwendung der Mathematik der Fall. Um die Verhältnisse des Bewussten triftig unter sich zu fassen, muss sie die des Unbewussten im Zusammenhange damit fassen.

Auch durch folgende Beziehung auf ein analoges Beispiel wird sich die Triftigkeit der vorigen Auffassung erläutern lassen.

Es kann jemand Vermögen oder Schulden haben, die zwar nicht in Geld und Gütern an sich, aber im positiven oder negativen Besitze derselben bestehen. Nun bezeichnet man triftig den Vermögensstand, wo weder positives noch negatives Vermögen da ist, ein Mensch nichts hat, aber auch keine Schulden hat, mit einem Nullwerthe; wogegen es ganz untriftig sein würde, auch grössere und kleinere Schulden mit dem Nullwerthe zu bezeichnen, ungeachtet der Mensch hiebei auch nichts hat, da sie vielmehr mit grösseren und kleineren negativen Werthen zu bezeichnen sind, welche ausdrücken, dass mehr oder weniger Geld, Güter zum Besitzstande erst zugefügt werden müssen, um den Nullzustand nur erst herbeizuführen.

In ganz analogem Falle aber finden wir uns mit dem Unbewusstsein. Wie im Falle der Schulden ein grösserer oder geringerer Zuwachs von Geld und Gütern erfoderlich ist, den Nullzustand des Vermögens herbeizuführen, über welchen hinaus erst das positive Vermögen beginnt, so im Falle des Unbewusstseins ein grösserer oder geringerer Zuwachs des Reizes, respectiv der dadurch auszulösenden psychophysischen Bewegung, um den Nullzustand der Empfindung herbeizuführen, von wo an sie erst positive Bewusstseinswerthe gewinnt. Und man kann ganz in demselben Sinne sagen: man empfindet im unbewussten Zustande weniger als nichts, als man im Falle von Schulden sagen kann: man hat weniger als nichts; insofern man nämlich überhaupt Ausdrücke der Art für triftig ansehen will. Sie werden eben triftig, indem man ihnen das triftige factische Verhältniss unterlegt.

Nachdem wir durch den Zusammenhang genöthigt sind, den Gegensatz der Vorzeichen vor der Empfindung γ zur Bezeichnung eines, die Quantität desselben angehenden, Verhältnisses zu gebrauchen, können wir ihn natürlich nicht auch zur Bezeichnung einer entgegengesetzten Qualität der Empfindung brauchen. Kälte, Unlust können eben so stark empfunden werden, als Wärme, Lust, sind eben so mächtiger Wirkungen in der Seele fähig, als Wärme, Lust; also kommt ihnen auch nach dem Geiste und dem Zusammenhange der bisherigen mathematischen Betrachtungen eben so gut das positive Vorzeichen zu, so lange sie über der Schwelle sind, d. h. wirklich empfunden werden.

Nicht die Empfindungen der Wärme, Lust, Kälte, Unlust an sich selbst, sondern nur ihre Ursachen, Folgen und associirten Umstände sind in der Art entgegengesetzt, dass der mathematische Gegensatz der Vorzeichen darauf Anwendung findet, worauf schon Th. I. S. 17 kurz hingewiesen worden. Kälteempfindung entsteht durch Erniedrigung der Hauttemperatur unter einen gewissen Grad, Wärmeempfindung durch Erhöhung darüber; bei jener zieht sich die Haut zusammen und geht das Blut nach innen, bei dieser schwillt die Haut an und das Blut geht nach aussen; Lust associirt sich im Allgemeinen mit einer Hinwendung zu dem sie erweckenden Gegenstande, Unlust mit einer Abwendung davon; und vielleicht ist auch das, was der Lust und Unlust körperlicherseits unterliegt, in gewisser Weise so entgegengesetzt, wie Positives und Negatives, obwohl wir hierüber nichts Genaues wissen. Also wird man allerdings den Gegensatz der Vorzeichen bei der Repräsentation jener Empfindungen als Function körperlicher Verhältnisse, so wie der umgekehrten Repräsentation des Körperlichen in seiner Abhängigkeit vom Geistigen anzuwenden haben; aber nicht auf die Empfindungen selbst, sondern auf die Reize, oder Bewegungen, mit welchen sie in Functionsbeziehung stehen. Sehr leicht aber verwechselt man den Gegensatz des an die Empfindung wesentlich Associirten oder in Causalbeziehung dazu Stehenden mit einem Gegensatze der Empfindungen selbst.

Die folgende psychophysische Repräsentation der Wärme- und Kälte-Empfindung hat wesentlich nur eine theoretische Bedeutung, sofern sie bestimmt ist, zu zeigen, nach welchem Principe die mathematische Repräsentation sogenannter gegensätzlicher Empfindungen und die Verwendung des Vorzeichengegensatzes dabei stattfinden möchte. Wiefern diese Repräsentation die wirklichen Verhältnisse wiedergiebt, hängt von der noch nicht hinreichend entschiedenen Frage ab, wiefern das bei dieser Repräsentation zu Grunde gelegte Weber'sche Gesetz wirklich bei Temperatur-Empfindungen anwendbar ist. Dass es jedesfalls nicht in zu weiten Gränzen für den Versuch anwendbar ist, ist schon früher zugestanden, was indess nicht ausschliesst, dass es bei der Uebertragung von Reiz auf die psychophysische Bewegung weiter gültig sein könnte, als der Versuch ergiebt. Indessen ist diese

Frage überhaupt hier nicht so wichtig; da die Annahme des Weber'schen Gesetzes hier nur als Anhalt dient, die Behandlung gegensätzlicher Empfindungen daran zu erläutern, ohne dass diese auf die Voraussetzung des Weber'schen Gesetzes beschränkt ist.

Als Mass des Wärmereizes β ist nicht die absolute Temperaturhöhe, sondern die Differenz von derjenigen Temperatur, wo wir weder Kälte noch Wärme empfinden, anzusehen oder irgend eine Function dieser Differenz, da die Temperaturempfindung nach Massgabe der Entfernung von jener Mitteltemperatur zunimmt. Setzen wir nach einfachster Voraussetzung $\beta = t - T$, wo T die Temperatur bedeutet, bei der weder Wärme noch Kälte empfunden wird, t die eben vorhandene Temperatur, so wird unter Anwendung des Weber'schen Gesetzes die Fundamentalformel diese

$$d\gamma = \frac{Kdt}{t - T}$$

Nun ist zu bemerken, dass das zweite Glied dieser Gleichung für den Mittelfall beider Empfindungen, wo $t = T$ ist, unendlich, also nach mathematischem Ausdrucke discontinuirlich wird. Die beiden, durch diesen Mittelfall getrennten, allgemeinen Fälle, wo t kleiner, und wo t grösser als die Mitteltemperatur T ist, lassen sich also nicht unter dasselbe Integral vereinigen, und erfodern jeder eine selbständige Bestimmung der Integrationsconstante.

Setzen wir nun anfangs voraus, dass sowohl die Wärme- als Kälteempfindung eine Schwelle hat, d. h. dass beide nicht allein bei der Mitteltemperatur T, sondern schon in einem gewissen Abstande jenseits und diesseits der Mitteltemperatur T merklich zu sein aufhören, und im Intervalle zwischen beiden Temperaturen weder Wärme noch Kälte empfunden wird, eine Annahme, welche als die allgemeinere gegen die nachher in Betracht zu nehmende anzusehen, dass die Schwelle Null wäre, so werden wir, wenn wir die Schwellentemperatur der Wärme c, die der Kälte c' nennen, für Wärme und Kälte durch Integration folgende zwei Formeln erhalten, worin k das S. 13 angegebene Verhältniss zu K hat:

$$\gamma = k \log \frac{t - T}{c - T}$$

$$\gamma' = k \log \frac{t - T}{c' - T}$$

Da die Constante $c' - T$ negativ ist, während $c - T$ positiv ist, so unterscheiden sich die Ausdrücke für Wärme und Kälte durch einen Vorzeichengegensatz hinter dem Logarithmus-

zeichen, und werden übrigens gleich, wenn man c' eben so weit unterhalb T als c oberhalb T annehmen will, was aber für die folgenden allgemeinen Folgerungen nicht nöthig.

Die erste dieser Formeln lässt richtig γ gleich Null finden, wenn $c = T$, die zweite lässt $\gamma' = o$ finden, wenn $T = c'$. Die Formeln geben richtig reale Werthe für die Wärme γ und imaginäre für die Kälte γ', wenn $t > T$; umgekehrt, wenn $t < T$; wie man leicht unter Rücksicht findet, dass der Logarithmus einer negativen Grösse imaginär ist. Die Formeln geben endlich richtig bewusste oder unbewusste, d. h. positive oder negative, Werthe für Wärme γ, Kälte γ', je nachdem die Zähler der Brüche unter dem Logarithmuszeichen grösser oder kleiner als die Nenner sind. Somit repräsentiren sie triftig alle allgemeinen Verhältnisse, welche zu repräsentiren sind.

Diess unter Voraussetzung von zwei, um eine gewisse Distanz auseinanderliegenden, Schwellentemperaturen c, c' für Wärme und Kälte. Inzwischen kann sehr in Frage gestellt werden, ob diese Voraussetzung triftig ist. Zwar lehrt die Erfahrung, dass sich durch eine gewisse Breite von Temperaturen um die mittlere die Abwesenheit eines bestimmten Gefühles von Wärme oder Kälte forterhalten kann, und diess scheint für einen Abstand beider Schwellenwerthe jenseits und diesseits T zu sprechen. Aber es ist in Rücksicht zu ziehen, dass diess auch auf dem Accommodationsvermögen der Reizempfänglichkeit oder Empfindlichkeitsschwelle der Haut beruhen könnte, und das wir jedenfalls aus anderen Gründen anzuerkennen haben. Die Versuche des 9. Kapitels haben ergeben, dass es eine mittlere Temperatur von gewisser Breite zwischen Frostpunct und Blutwärme giebt, wo so kleine Temperaturdifferenzen noch mit dem Gefühle wahrgenommen werden, dass die zugehörigen Temperaturunterschiede am Thermometer fast in die Ordnung der Beobachtungsfehler eintreten. Diess stimmt besser dazu, dass inmitten dieser mittleren Temperatur eine gemeinsame Schwelle, also von der Höhe Null, für Wärme und Kälte, liegt, da sonst statt grösstmöglicher Empfindlichkeit, Unempfindlichkeit in einer gewissen Temperaturbreite zu erwarten wäre. Sollten die Schwellentemperaturen für Wärme und Kälte dennoch auseinanderliegen, so könnte es nur um eine, für die Beobachtung als verschwindend anzusehende, Grösse sein, und so ist es wahrscheinlicher, dass sie überhaupt nicht auseinanderliegen.

E. H. Weber stimmt hiemit überein, indem er bei einem Vergleiche der Licht- und Wärme-Empfindung (*Programmata collecta p.* 169) sagt:

»Sensus caliginis est sensus deficientis lucis ad cernendum necessariae. Quae cum nunquam plane deficiat, gradu tantum differunt sensus lucis et sensus caliginis. Hinc fit, ut crescente aut decrescente luce sensim paulatimque alter sensus in alterum transeat, neque gradus medius existat, quo neque lucis neque caliginis sensu afficimur. Contra talis medius gradus temperiei corporum nos tangentium, quo nec frigore nec calore afficimur, vere existit, arctissimis vero terminis circumscriptus est. Causa in eo posita est, quod corpori nostro calor a calidioribus corporibus communicatur, a frigidioribus autem detrahitur, lux autem nunquam oculis detrahitur, sed semper communicatur. Frigus et calor igitur se habent ut numeri positivi et negativi, inter quos medium est punctum indifferentiae, lux et caligo contra ut numeri positivi minores et majores.«

Wenn übrigens die Frage, ob die Schwellen für Wärme und Kälte absolut in einem Schwellennullpuncte zusammenfallen, ihr theoretisches Interesse hat, so würden doch für den Versuch jedenfalls die Schwellen immer als merklich zusammenfallend angesehen werden können, und die genaue Bestimmung der Constanten c, c' unmöglich fallen. Daher muss in jedem Falle eine andere Wahl der Constanten bei der Integration zweckmässig erscheinen; die, sollten die Schwellen genau zusammenfallen, sich von selbst nöthig machen würde. Nachdem nun das allgemeine Integral der Formel dieses ist:

$$\gamma = k \log (t - T) + C$$

wird man die Constante C am zweckmässigsten durch Bezug nicht zu der Temperatur, wo $\gamma = 0$, sondern wo (willkührlich) $\gamma = 1$ gesetzt wird, bestimmen, was für den Fall der Wärme bei einer Temperatur über, für den Fall der Kälte bei einer Temperatur unter T ist. Lassen wir jetzt c, c' diese beiden Temperaturen bedeuten, so wird sich C respectiv für den Fall der Wärme und Kälte durch die Gleichungen bestimmen:

$$1 = k \log (c - T) + C$$
$$1 = k \log (c' - T) + C.$$

Die hieraus folgenden Werthe für C, in die allgemeine Gleichung substituirt, geben

$$\gamma = k \log \frac{t - T}{c - T} + 1$$

$$\gamma' = k \log \frac{T - t}{T - c'} + 1$$

Es ist wichtig zu bemerken, dass die Einheit für Frost an sich keinen Grössenvergleich mit der Einheit für Hitze zulässt, da viel-

mehr beide Einheiten unabhängig von einander anzunehmen sind. Wir werden also trotz unseres Massprincipes, ja im mathematischen Geiste desselben, niemals sagen können, ob und wenn wir eben so sehr frieren, als warm sind; oder noch einmal so sehr frieren, als warm sind, indess die principielle Möglichkeit damit gegeben ist, zu sagen, wie vielmal stärker wir im einen als im anderen Falle frieren oder warm sind; es müssten sich denn noch allgemeinere mathematische Bezüge zwischen Empfindungen verschiedener Gattung entdecken lassen, als bis jetzt vorliegen.

Nachdem aber die Werthe c, c', für welche wir die Einheit der Temperaturempfindungen annehmen wollen, willkührlich sind, liegt es auf der Hand, dass wir nicht besser thun können, als sie symmetrisch zu T, d. h. c' eben so weit unterhalb, als c oberhalb anzunehmen. Auf diese natürlichste Annahme lässt sich dann allerdings auch ein Vergleich zwischen Wärme und Kälte gründen, welcher Anspruch hat, für naturgemäss zu gelten, wenn er auch nicht mathematisch nothwendig ist. Hiemit wird $c - T = T - c'$ und der Gegensatz von Wärme und Kälte reducirt sich darauf, dass für $t - T$ in der Formel für Wärme $T - t$ in der Formel für Kälte tritt, reducirt sich also wiederum auf einen Gegensatz der Vorzeichen unter dem Logarithmuszeichen.

So weit führt die Theorie unter Voraussetzung, dass das Weber'sche Gesetz gilt, und k gemeinsam für Wärme und Kälte ist. Ich habe nun schon angeführt, dass nach dem Frostpuncte zu das Weber'sche Gesetz seine Gültigkeit verliert; indess ist anderseits bemerkt worden, dass die Abweichungen vom Weber'schen Gesetze bei Einwirkung äusserer Reize nicht nothwendig auch in Bezug auf die dadurch ausgelösten psychophysischen Bewegungen stattfinden; so dass die vorigen Betrachtungen in Bezug auf diese immerhin ihre Bedeutung behalten können. Die Hauptabsicht der vorigen Erörterung war aber überhaupt nicht sowohl, die Massfunction für die Temperaturempfindung festzustellen, wozu in der That noch mehr experimentale Voruntersuchungen nöthig sind, als bis jetzt vorliegen, als die mathematische Auffassung eines Gegensatzes von Empfindungen, wie ihn Wärme und Kälte darbieten, im Allgemeinen darzulegen.

XIX. Bezugsweiser Gang von Reiz und Empfindung.

Die Empfindung steigt mit dem Reize auf, aber keinesweges demselben proportional auf. Vielmehr wissen wir, dass, während der Reiz bis zum Schwellenwerthe ansteigt, die Empfindung überhaupt noch nicht bemerklich wird, und auch höher hinauf nicht in einem einfachen, sondern logarithmischen Verhältnisse dazu wächst. Es hat sein Interesse, die Hauptverhältnisse dieses Ganges noch etwas genauer zu verfolgen, als es durch die blosse Unterscheidung und Inbetrachtnahme der drei Hauptfälle, welche unter der Formel begriffen sind, bisher geschehen ist. Hiezu ist dieses Kapitel bestimmt.

Zu einfacherer Ableitung des bezugsweisen Ganges von Reiz und Empfindung soll die Massformel folgends auf ihre einfachste Form $\gamma = \log \beta$ reducirt gedacht werden, wobei der Schwellenwerth b als Einheit des Reizes gilt, und die Reizwerthe β die Bedeutung von Fundamentalwerthen in dem S. 13 angegebenen Sinne annehmen. Mit e soll wie immer die Grundzahl der natürlichen Logarithmen 2,718 .... bezeichnet werden.

Allgemein entspricht jedem positiven Empfindungswerthe bei einem gegebenen Reize β ein gleich grosser negativer beim reciproken Reizwerthe $\frac{1}{\beta}$; nach der allgemeinen Beziehung (S. 5 Formel 2), dass $\log \frac{1}{\beta} = - \log \beta$, wonach den beiden Reihen der Reizwerthe

$$1;\ 2;\ 3;\ 4 \ldots\ldots$$
$$1;\ \tfrac{1}{2};\ \tfrac{1}{3};\ \tfrac{1}{4} \ldots\ldots$$

zwei Reihen dem absoluten Zahlausdrucke nach gleich grosser Empfindungswerthe zugehören, der ersten eine Reihe positiver, der zweiten eine Reihe gleich grosser negativer Empfindungswerthe, welche bei dem Schwellenwerthe des Reizes 1 im Nullwerthe oder Schwellenwerthe der Empfindung zusammentreffen. Hienach hat man überhaupt nur nöthig, den Gang der Empfindung bezüglich zum Reize für Werthe von β, welche grösser sind als 1, zu verfolgen, um nach voriger Beziehung den Gang bezüglich der Reizwerthe, welche kleiner sind, daraus zu finden.

Sowohl die Reihe der positiven als negativen Empfindungswerthe läuft nach Massgabe als man β im Werthe $\gamma = \log \beta$ oder

$\gamma = \log \frac{1}{\beta}$ ins Unendliche wachsen lässt, in eine unendliche respectiv positive oder negative Grösse aus; wovon erstere eine unendlich starke Empfindung, letztere das absolute Unbewusstsein einer Empfindung bezeichnet. Was aber das Erste anlangt, so darf man nicht vergessen, dass unsere Formel blos so lange gilt, als das Weber'sche Gesetz gilt, und dass dieses nach der Einrichtung unseres Organismus bei zu starken Reizeinwirkungen gültig zu sein aufhört; daher sich die Empfindung durch Steigerung des Reizes im Menschen nicht so ins Unbestimmte steigern lässt, wie es nach abstracter Geltung der Formel der Fall sein würde. Hingegen hindert nichts, vorauszusetzen, dass, wenn die psychophysische Bewegung ins Unbestimmte gesteigert werden könnte, auch die Abhängigkeit der Empfindung davon ins Unbestimmte der Formel folgen würde.

Die ganze Reihe der negativen Empfindungswerthe von der negativen Unendlichkeit bis zur Schwelle entspricht dem verhältnissmässig kleinen endlichen Intervalle der Reizwerthe von 0 bis 1, indess die Reihe der positiven Empfindungswerthe von der Schwelle bis zur unendlich starken positiven Empfindung dem unendlichen Intervalle der Reizwerthe von 1 bis ∞ zugehört.

Verfolgen wir des Weiteren nun den Gang der positiven Empfindungswerthe.

Berechnet man unter Zugrundelegung eines beliebigen logarithmischen Systemes nach der Formel $\gamma = \log \beta$ die Werthe γ, welche den von der Schwelle 1 an wachsenden Werthen β zugehören, so findet man, dass γ anfangs in rascherem Verhältnisse als β wächst, wie sich darin zeigt, dass das Verhältniss $\frac{\gamma}{\beta} = \frac{\log \beta}{\beta}$ anfangs wächst. Steigert man aber β immer mehr, so nimmt das zugehörige Verhältniss $\frac{\gamma}{\beta}$ wieder ab. Kurz: steigert man den Reiz von seinem Schwellenwerthe an, so steigt die Empfindung anfangs rascher als der Reiz, über eine gewisse Gränze hinaus aber langsamer.

Da die Empfindung beim Schwellenwerthe selbst Null ist, jeder endliche Werth aber unendlichemal so gross als Null, so geschieht die Steigerung der Empfindung bei Ueberschreitung des Schwellenwerthes um eine noch so kleine endliche Grösse in unendlich starkem Verhältnisse. Setzen wir anderseits den idealen

Fall einer unendlichen Stärke des Reizes unter Forterhaltung der Gültigkeit der Formel, so wird ein endlicher Zuwachs des Reizes in keinem merklichen Zuwachse der Empfindung mehr gespürt. Der Uebergang von einer Gränze zur anderen, wo die Empfindung in unendlichem Verhältnisse und wo sie gar nicht mehr merklich durch einen gegebenen endlichen Zuwachs des Reizes wächst, wird nun eben dadurch vermittelt, dass sie bis zu gewissen Gränzen rascher, über gewisse Gränzen hinaus langsamer als der Reiz wächst.

Hiezwischen muss es nothwendig einen ganz bestimmten Mittelfall geben, wo die Empfindung weder rascher noch langsamer als der Reiz, sondern (streng genommen nur innerhalb eines unendlich kleinen Intervalls) demselben proportional wächst. Und nachdem bis zu diesem Mittelfalle der Werth $\frac{\gamma}{\beta} = \frac{\log \beta}{\beta}$ mit Wachsthum von β zunimmt, darüber hinaus abnimmt, muss dieser Fall dem **Maximum** von $\frac{\gamma}{\beta}$ entsprechen.

Diese Bedingung giebt zugleich den Weg an die Hand, den Reizwerth β zu bestimmen, bei dem dieser Wendepunct eintritt. Nach bekannten Regeln der Differenzialrechnung (durch Nullsetzung des Differenziales von $\frac{\log \beta}{\beta}$) findet man, dass der Werth β, welchem das Maximum $\frac{\log \beta}{\beta}$ entspricht, gleich e, d. i. gleich der Grundzahl der natürlichen Logarithmen ist. Wenn also der Reiz das 2,718...fache seines Schwellenwerthes ist, und sich von da um ein weniges ändert, so ändert sich die Empfindung der Aenderung des Reizes genau proportional.

Steigt der Reiz weiter über diesen Werth, so wächst zwar die Empfindung noch absolut genommen, aber nimmt ab im Verhältnisse zum Reize. Sinkt er merklich darunter, so sinkt die Empfindung zugleich absolut und relativ zum Reize.

Der Punct, wo dieses **relative** Maximum der Empfindung eintritt, soll der **Cardinalpunct** heissen, und der Reizwerth, bei dem es eintritt, also das $e$fache des Schwellenwerthes, und die zugehörige Empfindung der **Cardinalwerth des Reizes und der Empfindung**.

Wenn also ein Reiz in der $e$fachen Stärke seines Schwellenwerthes oder mit seinem Cardinalwerthe wirkt, so giebt er das verhältnissmässige Maximum der Empfindungsleistung oder die

Cardinalempfindung. Und wenn man es daher in seiner Gewalt hat, ein gegebenes Reizquantum mehr concentrirt oder mehr vertheilt zu verwenden, so wird man, um die grösstmögliche Empfindungsleistung dadurch zu erhalten, dasselbe so zu vertheilen haben, dass es mit der $e$fachen Stärke des Schwellenwerthes oder als Cardinalreiz wirkt. Concentrirt man es mehr, so wird die Empfindung intensiver; aber es wird eine so viel geringere Menge solcher intensiven Empfindungen entstehen, dass doch im Ganzen an Empfindungsleistung verloren wird; vertheilt man es mehr, so wird die grössere Menge der Empfindungen den Verlust durch die geringere Intensität nicht zu compensiren vermögen. Später, bei den Vertheilungsformeln der Empfindung, werden wir auf einem anderen Wege uns zu demselben Resultate geführt finden.

Da um jeden Maximumwerth die Werthe sich nur langsam ändern, so wird auch $\frac{\gamma}{\beta}$ um seinen Maximumwerth beinahe constant bleiben, und also nicht nur bei dem Cardinalwerthe des Reizes, sondern auch in der Nähe desselben die Empfindung merklich proportional mit dem Reize wachsen.

Das functionelle Verhältniss zwischen Reiz und Empfindung schliesst also einige Specialfälle von einer gewissen bevorzugten Bedeutung im bezugsweisen Gange beider ein, den Schwellenpunct und Cardinalpunct. Beim Schwellenpuncte ist die Empfindung Null, beim Cardinalpuncte hat sie das relative Maximum zum Reize. Der erste bezeichnet im Aufsteigen des Reizes den Punct, wo die negativen Werthe der Empfindung in positive übergehen, der zweite den Punct, wo die relative Zunahme zum Reize in relative Abnahme übergeht. Beim ersten steigt die Empfindung unendlich schnell verglichen mit dem Steigen des Reizes, beim zweiten steigt sie proportional mit dem Steigen des Reizes.

Hiezu kommt nun noch der formell wichtige Umstand, dass nach den Bestimmungen auf S. 19 der Schwellenwerth als Einheit des Reizes und der Cardinalwerth als Einheit der Empfindung die einfachstmögliche Form der Massformel ($\gamma = \log \beta$), welche die Beziehung zwischen Reiz und Empfindung ausdrückt, für den Fall natürlicher Logarithmen geben, deren System eine mathematisch bevorzugte Bedeutung vor jedem anderen Systeme hat.

Hier folgt eine kleine Tabelle, welche für die Voraus-

setzung der Reizeinheit beim Schwellenwerthe, und Empfindungseinheit beim Cardinalwerthe die zu einander gehörigen Werthe des Reizes und der Empfindung bei wachsendem Reize und wachsender Empfindung giebt, auf Seite I. so, dass zu den gegebenen Reizgrössen die zugehörigen Empfindungsgrössen, auf Seite II. umgekehrt angegeben sind.

Seite I. ist mittelst natürlicher Logarithmen nach der Formel

$$\gamma = \log \beta$$

oder, was äquivalente Werthe giebt, mittelst gemeiner nach der Formel

$$\gamma = \frac{\log \beta}{\log e} = 2{,}302585 \log \beta$$

berechnet; Seite II. nach der Formel

$$\beta = e^{\gamma}.$$

In Betreff der beigefügten Werthe $\frac{\gamma}{\beta}$ ist zu bemerken, dass ihre absolute Grösse keine Bedeutung hat, da sie an den willkührlichen Einheiten von Reiz und Empfindung hängt, sondern nur der davon unabhängige Gang oder die gegenseitigen Verhältnisse dieser Werthe mit Aufsteigen von γ und β.

I.			II.		
β	γ	$\frac{\gamma}{\beta}$	γ	β	$\frac{\gamma}{\beta}$
0	$-\infty$	$-\infty$	0	1	0
1	0	0	1	2,7183	0,36788
1,5	0,4055	0,27031	1,5	4,4817	0,33469
2	0,6931	0,34657	2	7,3891	0,27067
2,718	1,0000	0,36788	2,718	15,154	0,17938
3	1,0986	0,36620	3	20,086	0,14936
4	1,3863	0,34657	4	54,598	0,07326
5	1,6094	0,32188	5	148,41	0,03369
6	1,7918	0,29821	6	403,43	0,01487
7	1,9459	0,27799	7	1096,6	0,00640
8	2,0794	0,25993	8	2981,0	0,00268
9	2,1972	0,24413	9	8103,1	0,00088
10	2,3026	0,23026	10	22026	0,00005 *)

Man sieht nun auf der Seite I, dass dem Reize Null ein negativ unendlicher Werth der Empfindung entspricht, d. h. der tiefst mögliche Grad des Unbewusstseins, das absolute Unbewusstsein. Während der Reiz von Null bis 1 steigt, wo die bewusste Empfindung beginnt, durchläuft die Empfindung alle mögliche negative Werthe, indem nach der Formel die in der Tabelle nicht

*) Genauer 0,0000454.

mit angeführten negativen Empfindungen für den Reiz $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. f. den positiven für den Reiz 2, 3, 4 u. s. f. im absoluten Zahlwerthe entsprechen. Wenn der Reiz über seinen Schwellenwerth 1 steigt, so wächst gemäss dem Angeführten die Empfindung anfangs in rascherem Verhältnisse als der Reiz; indem das Verhältniss $\frac{\gamma}{\beta}$ mit dem Wachsthume von β anfangs wächst. Bei $\beta = e = 2{,}718$, d. i. dem Cardinalwerthe des Reizes, zeigt sich das Maximum von $\frac{\gamma}{\beta} = \frac{1}{e} = 0{,}36788$, und um diesen Werth, von $\beta = 2$ bis $\beta = 4$ steigt die Empfindung merklich im Verhältnisse des Reizes, indem das Verhältniss $\frac{\gamma}{\beta}$ hier nahe constant bleibt; indess es bei weiterem Wachsthume des Reizes immer augenfälliger abnimmt.

Hier folgen noch nach voriger Tabelle für die aufeinanderfolgenden Differenzen der Empfindung γ, wenn sie von 0 immer um die gleiche Grösse 1 wächst, die zugehörigen Differenzen des Reizes β.

γ	Diff. γ	Diff. β
0		
	1	1,7183
1		
	1	4,6708
2		
	1	12,697
3		
	1	34,512
4		
	1	93,81
5		
	1	255,02
6		
	1	693,2
7		
	1	1884,4
8		
	1	5122,1
9		
	1	13923,0
10		

Während also der Reiz, um die Empfindung von 0 bis zum Cardinalwerthe oder der natürlichen Fundamentaleinheit wachsen zu lassen, blos um 1,7183 über seinen Schwellenwerth 1 zu steigen hat, muss er, um die Empfindung von 9 bis 10 wachsen zu lassen, um 13923 steigen.

Es giebt einen sehr einfachen Fall, auf den man den vorigen Gang in Wirklichkeit beziehen kann. Wenn man sich einem dauernden Geräusche von constanter Stärke successiv nähert, so werden, wenn diess aus unendlicher Ferne her geschieht, alle Grade des Unbewusstseins von der negativen Unendlichkeit an durchlaufen, bis bei einem gewissen Puncte die Merklichkeit und hiemit der Schwellenwerth des Geräusches eintritt, von dem an dann der in der Tabelle verzeichnete Gang der Empfindung in positivem Sinne befolgt wird.

Da die Stärke des Schalles β in umgekehrtem Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht, so möge sie 1 bei der Einheit der Entfernung sein, und als diese Einheit die Entfernung gesetzt werden, wo der Schall eben merklich zu werden beginnt. Dann ist die Stärke des Schalles $\frac{1}{D^2}$ in der Entfernung D. Sei ferner die Einheit der Empfindung beim Cardinalwerthe, so wird der Gang der Empfindung bei natürlichen Logarithmen durch

$$\gamma = \log \frac{1}{D^2} = - 2 \log D$$

gegeben. Die positiven Werthe von γ entsprechen hier Werthen von D, welche kleiner als die Schwellendistanz, mithin Bruchwerthe sind; was $\log D$ negativ und $- \log D$ positiv macht.

Man kann in der obigen Tabelle als eine Eigenthümlichkeit bemerken, dass das Verhältniss $\frac{\gamma}{\beta}$ bei $\beta = 2$ unterhalb des Cardinalpunctes mit dem Verhältnisse bei 4 oberhalb dieses Punctes ganz übereinstimmt, nämlich beidesfalls 0,34657 ist, und dass zugleich das Verhältniss dieser Reize $\beta = 2$ und $\beta = 4$, mit dem Verhältnisse der zugehörigen Empfindungen 0,6931 und 1,3863 übereinstimmt.

Das Letzte ist eine natürliche Folge des Ersten, denn, wenn

$$\frac{\gamma}{\beta} = \frac{\gamma'}{\beta'}$$

so ist nothwendig zugleich

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{\beta}{\beta'}$$

Das Erste aber leitet man leicht aus der Massformel ab.

Wenn nämlich $\gamma = \log \beta$, so ist $\frac{\gamma}{\beta} = \frac{\log \beta}{\beta}$. Setzt man nun nach einander $\beta = 2$ und $\beta = 4$, so hat man

$$\text{für } \beta = 2 \ldots\ldots \frac{\gamma}{\beta} = \frac{\log 2}{2}$$

$$\text{für } \beta = 4 \ldots\ldots \frac{\gamma}{\beta} = \frac{\log 4}{4}$$

Indem aber $\log 4 = \log 2^2 = 2 \log 2$, sind beide Werthe von $\frac{\gamma}{\beta}$ identisch.

Man kann aber weiter bemerken, dass keineswegs allgemein das Verhältniss der Empfindung mit dem Verhältnisse der zugehörigen fundamentalen Reizwerthe übereinstimmt. Diess würde unter Anwendung der Fundamentaleinheiten fodern, dass

$$\frac{\beta}{\beta'} = \frac{\log \beta}{\log \beta'}$$

was nicht allgemein statt hat, wenn man für β, β' beliebige Zahlen setzt. Doch ist das angegebene Gleichheitsverhältniss auch nicht auf jenen einzelnen Fall der fundamentalen Reizwerthe 2

und 4 beschränkt, diess vielmehr nur ein besonderer und besonders ausgezeichneter Fall unter unendlich vielen dergleichen Fällen. Allgemein entspricht jedem gegebenen Werthe $\frac{\gamma}{\beta}$ oberhalb des Cardinalpunctes ein gleicher unterhalb des Cardinalpunctes, wie umgekehrt, und allgemein stimmt hier das Verhältniss der fundamentalen Reizwerthe mit dem der Empfindungswerthe überein. Die so zu einander gehörigen Werthe sollen correspondirende heissen und die correspondirenden fundamentalen Reizwerthe insbesondere mit x, y bezeichnet werden. Es hat einiges Interesse, ihre Verhältnisse festzustellen, sofern sie zwei Intensitäten bezeichnen, bei denen ein gegebenes Reizquantum dieselbe Empfindungsleistung giebt, wenn es durch angemessene Vertheilung auf diese Intensitäten gebracht wird. Je weiter beide auseinander und vom Cardinalwerthe abweichen, desto geringer ist die Leistung des Quantums bei diesen Intensitäten. Im Cardinalwerthe selbst treffen beide correspondirende Werthe in einem gleichen Maximum zusammen.

Die Herleitung der Verhältnisse, um die es sich handelt, ist diese:

Wenn x und y die correspondirenden Reizwerthe und γ, γ' die zugehörigen Empfindungen sind, so haben wir

$$\frac{\gamma}{x} = \frac{\gamma'}{y}$$

Indem aber $\gamma = \log x$, $\gamma' = \log y$, folgt daraus

$$\frac{x}{y} = \frac{\log x}{\log y}$$

Setzen wir nun $\frac{x}{y} = n$ und substituiren yn für x in vorige Gleichung, so erhalten wir

$$n = \frac{\log ny}{\log y}$$

$$n \log y = \log ny$$

$$\log y^n = \log ny$$

$$y^n = ny$$

$$y^{n-1} = n$$

$$(n-1) \log y = \log n$$

$$\log y = \frac{\log n}{n-1} = \log n^{\frac{1}{n-1}}$$

$$y = n^{\frac{1}{n-1}}$$

$$x = ny = n^{\frac{n}{n-1}}$$

Allgemein finden nach vorstehender Herleitung für die corre-

spondirenden Reizwerthe folgende merkwürdige, einander äquivalente, Beziehungen statt:

$$x^y = y^x$$

$$x^{\frac{1}{x}} = y^{\frac{1}{y}}$$

$$\frac{x}{y} = \frac{\log x}{\log y}$$

woraus, wenn man $\frac{x}{y} = n$ setzt, folgende Bestimmung von x und y fliesst:

$$x = n^{\frac{n}{n-1}}$$

$$y = n^{\frac{n}{n-1}}$$

Giebt man sich also irgend ein beliebiges Verhältniss $\frac{x}{y} = n$, in welchem die correspondirenden Reizintensitäten stehen sollen, so kann man nach vorigen Gleichungen die correspondirenden Intensitäten x, y selbst finden, wobei die Reizeinheit der Schwellenwerth, die Empfindungseinheit beliebig ist.

Hier folgt eine kleine, nach diesen Formeln berechnete, Tabelle; auf deren zweiter Seite die Potenzwerthe der ersten Seite in ihre Zahlwerthe aufgelöst sind.

	I.		II.	
n	x	y	x	y
1	e	e	2,718	2,718
2	2^2	2^1	4,000	2,000
3	$3^{\frac{3}{2}}$	$3^{\frac{1}{2}}$	5,196	0,1732
4	$4^{\frac{4}{3}}$	$4^{\frac{1}{8}}$	6,350	0,1582
5	$5^{\frac{5}{4}}$	$5^{\frac{1}{4}}$	7,477	0,1495
10	$10^{\frac{10}{9}}$	$10^{\frac{1}{9}}$	12,92	0,1291
100	$100^{\frac{100}{99}}$	$100^{\frac{1}{99}}$	104,8	1,048

Man sieht aus dieser Tabelle, dass, je höher die Intensität des einen correspondirenden Reizes steigt, um so schwächer die des anderen ist, welche ihm in derselben relativen Empfindungsleistung die Wage hält, so dass z. B. einem Reize, welcher das 104,8-fache seines Schwellenwerthes ist, ein Reiz darin correspondirt, der nur das 1,048fache seines Schwellenwerthes, also $\frac{1}{100}$ des vorigen ist, und man mit demselben Reizquantum dieselbe Empfindungsleistung erzielt, wenn man es in dieser oder jener Stärke

verwendet, indem die demgemässe Ausbreitung des Reizes den Verlust seiner Intensität ersetzt. Auch hierauf werden uns die späteren Vertheilungsformeln der Empfindung auf einem anderen Wege zurückführen.

Man kann nun bemerken, dass die correspondirenden fundamentalen Reizwerthe 2 und 4, welche den Cardinalwerth e ziemlich in der Mitte haben, und zwischen denen $\frac{\gamma}{\beta}$ fast constant bleibt, also Empfindung und Reiz einander merklich proportional wachsen, zugleich die einzigen sind, welche in ganzen Zahlen sich ausdrücken, dass sie die möglichst einfachen Verhältnisse in geraden Zahlen zum Schwellenwerthe 1 darbieten, und der obere das Doppelte und Quadrat des unteren ist. Sie haben also eine mathematische Auszeichnung vor allen übrigen, welche mit ihrer realen Bedeutung dahin zusammentrifft, ein Intervall von secundärer Bedeutung, nächst dem Hauptintervall zwischen Schwellenpunct und Cardinalpunct, abzugränzen, das Intervall merklich proportionalen Fortschrittes von Reiz und Empfindung; welches man das Cardinalintervall nennen könnte, indess man jenes das Fundamentalintervall nennen mag.

Sucht man die mittlere Grösse der Empfindung in diesen zwei Hauptintervallen, so findet man, unter Voraussetzung des Cardinalwerthes der Empfindung als Einheit, als mittlere Empfindung des Fundamentalintervalls $\frac{1}{e} = 0{,}36788$, als die des Cardinalintervalls 3 log nat. 2 — 1 = 1,07944. Die mittlere Empfindung 1 erhält man für das Intervall vom Schwellenwerthe bis zum fundamentalen Reizwerthe e^2, und der allgemeine Ausdruck für den Mittelwerth einer Empfindung im Intervall vom fundamentalen Reizwerthe x bis y ist

$$\frac{y \,.\, \log \text{nat.}\, y - x \log \text{nat.}\, x}{y - x} - 1.$$

Der Mittelwerth der Empfindung in dem Intervall zwischen zwei Reizwerthen x, y kann nämlich unter der Voraussetzung von $k = 1$, $b = 1$ durch

$$\frac{\int_x^y \log \beta d\beta}{y - x}$$

dargestellt werden; welcher Werth durch Integration zu obigen Bestimmungen führt.

Auf der zweiten Seite der Tabelle S. 51 ist, abgesehen von den einschaltungsweise zugefügten Empfindungswerthen 1,5 und 2,7183, die Reihe der Empfindungen als eine arithmetische mit der Differenz 1 dargestellt. Man sieht, dass ihr eine geometrische der

Reizwerthe entspricht, indem jeder folgende Reizwerth aus dem früheren durch Multiplication mit dem Exponenten $e = 2,7183$ hervorgeht.

Dieses Resultat des Zusammengehörens der arithmetischen Empfindungsreihe und geometrischen Reizreihe ist nicht an die besonderen Einheiten geknüpft, die hier gewählt sind; sondern allgemein entspricht jeder arithmetischen Reihe von Empfindungen, auch bei anderen Einheiten und anderer Differenz, eine geometrische der Reizwerthe. Und zwar ist der Exponent einer Empfindungsreihe mit der Differenz 1 allgemein gleich dem fundamentalen Reizwerthe, bei dem man die Einheit der Empfindung setzt, im Falle unserer Tabelle e, bei irgend einer anderen Differenz aber gleich der Potenz dieses fundamentalen Reizwerthes, welcher durch die Differenz bezeichnet wird. So hat man nach unserer Tabelle für die Reihe der Empfindungen 1, 3, 5 . . ., wo die Differenz 2 ist, eine geometrische Reihe der Reize mit dem Exponenten e^2.

Man kann die Massformel noch unter einer etwas anderen Form, als früher nach der Betrachtung aufstellen, dass sich der Reiz β als aus einem der Schwelle gleichen Theile b und einem positiven oder negativen Zuwachse α dazu, je nachdem der Reiz über oder unter dem Schwellenwerthe ist, bestehend ansehen, also $\beta = b + \alpha$ setzen lässt, wodurch die Massformel übergeht in

$$\gamma = k \log \frac{b+\alpha}{b} = k \log \left(1 + \frac{\alpha}{b}\right)$$

So stellt sich γ als Function des Verhältnisses dar, welches der Zuwachs zur Schwelle gegen die Schwelle hat, indess die frühere Form γ als Function des Verhältnisses gab, welches der gegebene Reiz zur Schwelle hat.

Die jetzige Form zeigt sich bequem, folgende Resultate abzuleiten.

So lange der Reiz den Schwellenwerth nur sehr wenig übersteigt, also $\frac{\alpha}{b}$ ein sehr kleiner Bruch ist, klein genug, dass die höheren Potenzen gegen die erste zu vernachlässigen, kann man nach S. 5 für $\log\left(1 + \frac{\alpha}{b}\right)$ substituiren $M\frac{\alpha}{b}$, wo M der Modulus. Wonach eine Empfindung, so lange sie sehr schwach ist, im directen Verhältnisse von $\frac{\alpha}{b}$ steht und steigt. Ist hingegen der Reiz so gross, dass 1 gegen $\frac{\alpha}{b}$ zu vernachlässigen, so steigt die Em-

pfindung proportional mit log $\frac{a}{b}$ = log a — log b, und ist sie endlich so gross, dass auch log b gegen log a zu vernachlässigen, so steigt sie proportional mit log a, und wird unabhängig vom Schwellenwerthe.

Die Weise, wie nach der Massformel mit dem Wachsthume des Reizes die Empfindung steigt, kann leicht graphisch durch die logarithmische Curve repräsentirt werden, indem man die Grösse des Reizes durch Abscissen, die zugehörigen Werthe der Empfindung durch darauf rechtwinklige Ordinaten darstellt.

XX. Summation von Empfindungen.

Es ist von fundamentaler Wichtigkeit, den Fall, wo zu einem Reize auf gegebenem Puncte ein Zuwachs erfolgt, so dass dadurch die Intensität der Reizung und Empfindung vermehrt wird, von dem Falle zu unterscheiden, wo der Reizzuwachs auf andere discret von jenem empfindende Puncte fällt, so dass dadurch die Zahl der gereizten und empfindenden Puncte, hiemit die Extension der Reizung und Empfindung, vermehrt wird. Wie schon S. 21 bemerkt, tritt nur der erste Fall direct unter die Massformel, als welche nur für die Abhängigkeit der Empfindung von der Intensität des Reizes unmittelbar massgebend ist; es hindert aber nichts, das, was aus der Massformel für die einzelnen Puncte nach der Stärke ihrer Reizung folgt, in Summen zusammenzufassen und diese Summen zu vergleichen. Niemand wird Anstand nehmen, wenn die Netzhaut gleichförmig beleuchtet ist, zu sagen, dass die ganze Netzhaut doppelt so viel Empfindung giebt, als jede ihrer Hälften; und wenn ein Ton gleichmässig durch eine gewisse Zeit ausgehalten (und mit constanter Empfindlichkeit aufgefasst) wird, dass in der ganzen Zeit doppelt so viel als in der halben empfunden wird. Es hat also mit Rücksicht auf die räumliche oder zeitliche Extension, durch welche ein Reiz und die dadurch erweckte Empfindung reicht, einen Sinn von grösseren und kleineren Empfindungssummen zu sprechen, und solche selbst nach ihrer Grösse unter einander zu vergleichen. Der Kürze halber mögen wir dabei Raumsummen und Zeitsummen der Empfindung unterscheiden, je nachdem wir die Empfindung für verschiedene Raumpuncte oder Zeitpuncte summiren.

Unter P u n c t e n, Raum- oder Zeitpuncten (Momenten) verstehen wir folgends überall keine mathematischen Puncte, sondern im Allgemeinen (gleich gross gedachte oder nach ihrer relativen Grösse in Rechnung genommene) Raum- oder Zeitelemente der Art, dass der Empfindungsbeitrag, den eine sich durch sie hindurcherstreckende Reizeinwirkung liefert, für jedes Element als von constanter Intensität angesehen werden könne; indess die Intensitäten für verschiedene Puncte verschieden sein können.

Wenn hienach eine gegebene Fläche gereizt, z. B. eine gegebene Fläche der Netzhaut beleuchtet ist, so ist das Quantum der Empfindung, was wir haben, als Summe der Empfindungen, welche die einzelnen Puncte oder Flächenelemente des beleuchteten Theiles gewähren, aufzufassen, diese Empfindungssumme aber nicht nach der Gesammtsumme des auf diesen Theil einwirkenden Lichtreizes mittelst der logarithmischen Massformel im Ganzen zu berechnen, sondern die Berechnung für jeden einzelnen Punct (Element) nach der Stärke seiner Reizung besonders vorzunehmen, und dann die Summe dessen zu nehmen, was für die einzelnen Puncte oder Elemente gilt.

Eben so, wenn sich fragt, welche Summe von Empfindung man während einer gewissen Zeit gehabt hat, so wird man die Summe der Empfindungen zu nehmen haben, die man während aller einzelnen Theile dieser Zeit gehabt hat, und diese Summe wird nicht nach unserer Massformel als Function der Summe der Reize zu berechnen sein, welche während dieser ganzen Zeit eingewirkt haben, sondern man wird für jeden Zeitpunct oder Moment, d. i. so kleinen Zeittheil, dass die Empfindung darin als constant angesehen werden kann, die Stärke der Empfindung nach der gegenwärtigen Einwirkung und von früher fortbestehenden Nachwirkung des Reizes zu berechnen und hievon die Summe für alle einzelnen Momente zu nehmen haben.

Der Unterschied, je nachdem der Zuwachs eines Reizes die Reizung gegebener Puncte (Elemente) vermehrt oder auf neue Puncte fällt, läuft nach Vorstehendem darauf hinaus, dass erstenfalls der Zuwachs des Reizes dem Reize unter dem Logarithmuszeichen zuzufügen ist, zweitenfalls der Logarithmus des Zuwachses dem Logarithmus des Reizes zuzufügen ist, um das Resultat des Zuwachses für die Empfindung zu haben.

Dabei kann allerdings die Frage erhoben werden, ob, wenn

viele Puncte zusammen gereizt werden, die Empfindung, die jeder giebt, wirklich noch in derselben Weise als Function des Reizes bestimmt wird, als wenn ein einzelner für sich gereizt wird. Aber gesetzt, die Verbindung vieler Puncte sei von Einfluss auf die Weise, wie jeder einzelne seine Empfindung giebt, so würde dadurch das Axiom nicht aufgehoben, dass die Summe der Empfindung, welche alle Puncte gewähren, durch Addition dessen, was die einzelnen gewähren, zu finden sei; es könnte nur die Frage entstehen, ob nicht bei einer Verbindung vieler gereizten Puncte jeder einzelne eine geringere oder grössere Empfindung giebt, als bei Verbindung weniger eben so stark gereizter. Es würde dieser Umstand, wenn er stattfände, auf die allgemeinen Additionsregeln der Empfindung doch keinen Einfluss haben, sondern blos die Grösse der additionellen Elemente ändern. Denn da unsere Formeln überhaupt nicht auf Erfahrungen an einzelnen Puncten, sondern auf Verbindungen von solchen fussen, so kann nicht vorausgesetzt werden, dass die Form unserer Formeln durch die Verbindung der Puncte abgeändert werde, sondern nur, dass die Constanten derselben möglicherweise dadurch abgeändert werden; und es bleibt allerdings noch eine Sache künftiger Untersuchung, wiefern diess der Fall sei, und welchen Einfluss die Constanten dadurch erfahren. Die Constante b könnte nach der Grösse einer gereizten Fläche variabel sein, dann würde diese Variabilität bei der Summation zu berücksichtigen sein, im Uebrigen aber die Regeln der Summation dieselben bleiben. Ich komme künftig darauf zurück; abstrahire aber jetzt von dieser Möglichkeit.

Empfindungssummen, die sich nach Extension und Intensität der in ihnen enthaltenen Empfindungen unterscheiden, sind, ungeachtet dieses eigenthümlichen Unterschiedes, nichts desto weniger einer quantitativen Vergleichung fähig. In der That, sei anfänglich nur ein Element von gegebener Extension mit gegebener Intensität der Reizung gegeben, so wird eine gegebene Gesammtgrösse der Empfindung davon abhängen; diese können wir nun eben so extensiv in gegebenem Verhältnisse vervielfältigen dadurch, dass wir die Zahl so gereizter Elemente vermehren, als intensiv dadurch, dass wir ohne Vermehrung der Zahl der Elemente die Intensität der Reizung verstärken, und können das nach einer und der anderen Richtung in gegebenem Verhältnisse vervielfältigte ursprünglich Gleiche quantitativ vergleichen, wenn

schon die Vervielfältigung beidesfalls in anderem Sinne geschehen ist.

So können wir einen Würfel, der auf der Erde liegt, in horizontalem Sinne und in verticalem Sinne verlängern, und Grössengleichungen zwischen beiden so entstandenen Säulen finden, ungeachtet sie in ganz verschiedenen Richtungen liegen, so dass sie sich nach diesen verschiedenen Richtungen gar nicht superponiren lassen.

Eine sehr wichtige Rücksicht, die man bei den Summationen zu nehmen hat, ist folgende:

Je nachdem ein Punct durch Zuwachs des Reizes zum gegebenen Reize über die Schwelle steigt, oder durch Entziehung von Reiz darunter sinkt, wird die Empfindung positiv, bewusst, oder negativ, unbewusst, und haben wir stets einfach ein positives oder negatives Empfindungsresultat. Aber wenn zu einer Mehrheit von discret empfindenden Puncten über der Schwelle, die mithin eine positive Empfindungssumme geben, eine andere Mehrheit solcher Puncte unter der Schwelle tritt, die mithin eine negative Empfindungssumme geben, so wird die positive Empfindung von jenen nicht dadurch vermindert, sondern besteht neben der negativen fort; die negative zieht sich nicht von der positiven ab, und wird nicht compensirt durch die positive, und wir haben zwar beides, positive und negative Empfindung, in Abwägung und Gegenrechnung gegen einander zu bringen, aber nicht algebraisch zu addiren oder in Abzug von einander zu bringen, um den Empfindungszustand im Ganzen richtig darzustellen.

Hierin liegt kein Bruch der mathematischen Consequenz; vielmehr kann man sich das vorige Verhältniss ganz gut am ganz analogen Falle einer Curve erläutern, deren mathematische Repräsentation Entsprechendes zeigt. In einer Ellipse füllen die auf Seiten der positiven Abscissen errichteten positiven Ordinaten einen nach mathematischer Repräsentation positiven Raum, die unterhalb errichteten eben so einen negativen Raum, oder genauer, die Masszahlen, durch die man beide Räume misst, erhalten mathematisch ein entgegengesetztes Vorzeichen. Addirt man beide Räume algebraisch, so erhält man eine Summe gleich Null. Aber diese algebraische Addition bedeutet nichts. Man muss vielmehr den positiven und negativen Raum besonders auffassen, weil sie durch Ordinaten bestimmt sind, die verschiedenen Puncten zugehören. Eben so

muss man die positiven und negativen Empfindungssummen, welche von Empfindungen herrühren, die verschiedenen Puncten zugehören, besonders auffassen. Hiegegen hat es einen Sinn, aus den positiven Theilräumen der Ellipse für sich, sowie den negativen Theilräumen für sich Summen zu bilden. Und so hat es auch einen Sinn, die Empfindungen für Puncte mit positiven und für solche mit negativen Werthen für sich zu summiren.

Kurz, man kann die algebraische Summe positiver und negativer Empfindung, welche die verschiedenen Theile eines gereizten Organes liefern, nicht als Massstab für die Gesammtsumme bewusster Empfindung, die es liefert, und das Vorzeichen dieser algebraischen Summe nicht als massgebend für den Bewusstseinszustand betrachten, der durch dieses Organ erzeugt wird; sondern man muss anders, als wenn man sich die Summe der Reize auf denselben Punct gehäuft denkt, die positiven bewussten Werthe und negativen unbewussten Werthe, welche den einzelnen Puncten zugehören, besonders summiren. Sonst würde man das absurde Resultat erhalten, dass gar nichts empfunden worden sei mit einem Organe, was mit einem Theile sehr stark empfunden hat, indess es mit einem anderen Theile entsprechend tief unter der Schwelle war.

Ganz das Entsprechende gilt für Summation der Empfindungen, die während einer gewissen Zeit stattgefunden haben. Die Summe bewusster Empfindung, die während eines Theiles der Zeit stattgefunden hat, ist für sich zu bestimmen, und nicht die Summe unbewusster Empfindung, die während eines anderen Theiles stattgefunden hat, in Abzug davon, sondern nur in Gegenrechnung und Vergleich dazu zu bringen.

Die Betrachtungen, die wir hier angestellt haben, sind nicht nur für die Klarheit und den Gebrauch der Summenformeln in der äusseren Psychophysik von allgemeiner Wichtigkeit, sondern werden sich auch als sehr wichtig betreffs triftiger Auffassung der Verhältnisse der inneren Psychophysik zeigen und Anwendung beim Versuche, die Empfindungen elementar zu construiren, finden. Ich erinnere vorgreiflich an Folgendes: Schlaf und Wachen hängen unstreitig an einer grösseren Oscillation der lebendigen Kraft unserer psychophysischen Bewegungen. Wir können die Bewusstseinssumme während 24 Stunden nicht dadurch bestimmen, dass wir die negativen Bewusstseinswerthe

während des Schlafes von den positiven während des Wachens in Abzug bringen, oder die algebraische Summe beider nehmen; sondern jede Zeit, die bewusst gewesen ist, bleibt bewusst, und wenn noch so viel Unbewusstsein einer anderen Zeit gegenzurechnen wäre. Mehr als wahrscheinlich hängt auch jede Empfindung insbesondere an irgendwelchen nur sehr kleinen Oscillationen psychophysischer Thätigkeit. Falls die Thatsache der Schwelle in das Elementare reicht, können diese Oscillationen nur während eines Theiles der Zeit über der Schwelle sein*); da ihre Geschwindigkeit periodisch bis auf Null herabkommt. Ohne Rücksicht auf die vorigen Betrachtungen könnte man nun auf den Gedanken kommen, das Resultat des Bewusstseins werde durch die algebraische Summe der positiven Empfindungsbeiträge über der Schwelle und negativen unter der Schwelle gegeben, wo es wahrscheinlich sehr schwach oder Null sein würde. Allein diess ist nicht statthaft; sondern blos die positiven Beiträge kommen für das Bewusstsein in Betracht, und die negativen fallen für das Bewusstsein einfach aus; die bewussten Werthe schliessen sich aber, weil wir kein Bewusstsein der Zwischenzeit haben, an einander, in ähnlicher Weise, als auch der blinde Fleck im Auge keine Unterbrechung der Continuität der räumlichen Gesichtsempfindung bewirkt.

Hienach gebe ich folgende Summenformeln der Empfindung für eine Mehrzahl gereizter Puncte, welche gemeinsam für Raumsummen und Zeitsummen unter der Voraussetzung gelten, dass der Empfindungsbeitrag jedes einzelnen Punctes seiner Grösse nach durch unsere Massformel bestimmt wird.

Seien die zu summirenden Empfindungen γ', γ'', γ'''... welche respectiv den auf verschiedene Puncte wirkenden Reizen β', β'', β'''... zugehören. Sofern die Puncte, auf welche diese Reize wirken, verschiedene Empfindlichkeit haben können, setzen wir ihnen die Schwellenwerthe b', b'', b'''... zugehörig. Bezeichnen wir nun $\gamma' + \gamma'' + \gamma'''$... kurz mit $\Sigma\gamma$, so haben wir

$$\Sigma\gamma = k\left(\log\frac{\beta'}{b'} + \log\frac{\beta''}{b''} + \log\frac{\beta'''}{b'''}\dots\right)$$
$$= k\log\frac{\beta'\beta''\beta'''\dots}{b'b''b'''\dots}$$

*) Diess gilt wenigstens allgemein für geradlinige Schwingungen, überhaupt aber für Schwingungen jeder Art, wenn es sich darin vielmehr um Geschwindigkeiten zweiter als erster Ordnung handeln sollte.

Hienach vergleicht sich die Empfindungssumme $\Sigma\gamma$, welche durch Reizung einer Mehrheit verschiedener Puncte entsteht, mit der Empfindung $\gamma = k \log \frac{\beta}{b}$, welche durch Reizung eines einzigen eben solchen Punctes entsteht, indem wir setzen

$$\frac{\beta}{b} = \frac{\beta' \beta'' \beta''' \ldots}{b' b'' b''' \ldots}$$

d. i. beide sind gleich, wenn der fundamentale Reizwerth des einen Punctes gleich ist dem Producte der fundamentalen Reizwerthe der verschiedenen Puncte.

Eine bemerkenswerthe Folgerung dieser Formel ist, dass, wenn verschiedene Puncte mit verschiedener Empfindlichkeit verschieden gereizt sind, die Empfindungssumme sich nicht ändert, wenn man die Reize auf den Puncten mit verschiedener Empfindlichkeit beliebig vertauscht, oder die Empfindlichkeit für die verschiedenen Reize vertauscht.

Sei $\frac{\mathfrak{B}}{B}$ das geometrische Mittel der fundamentalen Reizwerthe der verschiedenen Puncte, und ihre Anzahl n, so ist

$$\frac{\beta' \beta'' \beta''' \ldots}{b' b'' b''' \ldots} = \left(\frac{\mathfrak{B}}{B}\right)^n$$

und die Summenformel lässt sich auch so schreiben

$$\Sigma\gamma = k \log \left(\frac{\mathfrak{B}}{B}\right)^n$$

$$= nk \log \frac{\mathfrak{B}}{B}$$

wonach die Empfindungssumme für n beliebig gereizte und beliebig empfindliche Puncte so gross ist, als wenn alle n Puncte mit dem geometrischen Mittel der fundamentalen Reizwerthe der verschiedenen Puncte gereizt wären.

Allgemein kann man bei einer Mehrheit verschieden gereizter Puncte nach der mittleren oder Durchschnittsempfindung derselben als derjenigen fragen, welche, wenn sie allen Puncten zugleich zukäme, dieselbe Summe gäbe, als man in Summa durch die verschiedene Reizung derselben erhält. Diese mittlere Empfindung erhält man bei n gereizten Puncte, wenn man den obigen Summenausdruck $\Sigma\gamma$ mit n dividirt, wodurch man findet

$$\frac{\Sigma\gamma}{n} = k \log \frac{\mathfrak{B}}{B}.$$

Hienach entspricht das arithmetische Mittel gegebener Empfindung dem geometrischen Mittel der zugehörigen Fundamentalreize im Sinne der Massformel.

Bisher haben wir eine endliche Zahl von Puncten vorausgesetzt, gilt es aber eine Summirung für ausgedehnte Zeiten oder empfindende Flächen, so werden wir allgemein, wenn der Reiz mit variabler Intensität einwirkt, jedes kleinste Zeit- oder Raumelement mit der daselbst wirkenden Stärke des Reizes β behaftet zu denken haben, und die Summe der Empfindung durch infinitesimale Summation der partiellen Empfindungen, welche diesen partiellen Reizeinwirkungen zukommen, zu gewinnen haben*); was sich, wenn wir Zeit und räumliche Ausdehnung zugleich berücksichtigen, durch die Formel ausdrückt

$$\Sigma\gamma = \int k \log \frac{\beta}{b}\, dt\, ds$$

worin dt das Zeitelement, ds das Raumelement ausdrückt. β ist als Function von t und s darzustellen. Sollte b variabel sein, so kann die Aenderung von b auf β übertragen werden. Die Integration dieser Formel hat in den Gränzen zu geschehen, für die man die Empfindungssumme sucht. s und t sind auf ihre Einheiten zu beziehen, und als Einheit der Empfindungssumme diejenige zu betrachten, welche für die Einheit von s und t und eine willkührliche Einheit von β gilt.

Der einfachste Fall, der hier in Betracht kommt, ist der, wo ein Reiz gleichförmig unter Forterhaltung gleicher Empfindlichkeit durch eine gegebene Zeit oder in einer gegebenen Ausdehnung einwirkt. Dann hat man einfach als Empfindungssumme für die Zeit t oder Ausdehnung s

$$kt \log \frac{\beta}{b} \text{ oder } ks \log \frac{\beta}{b}$$

und bei Berücksichtigung von s und t zusammen

$$kst \log \frac{\beta}{b}$$

wobei t und s von Null an gerechnet sind.

Der nächst einfache Fall möge als Rechnungsbeispiel hier Platz finden, wenn schon ich für jetzt keine besondere Anwendung davon zu machen wüsste. Es ist der, wo ein Reiz (die Reizwirkung) proportional mit der Zeit oder räumlichen Erstreckung von einem gewissen Puncte an wächst. Wie wird sich die Zeit- oder

*) Unstreitig allerdings nur mit einer ähnlichen Rücksicht, als mit der die infinitesimale Summation der Anziehungen der Theile eines Körpers im atomistischen Systeme stattfinden kann.

Raumsumme der Empfindung, die er dann während einer gegebenen Zeit- oder Raumstrecke gewährt, verhalten?

Die zeitliche oder räumliche Ausdehnung, von dem Puncte an, wo der Reiz Null ist, heisse x, und der Reiz in der Entfernung x vom Ausgangspuncte sei px, wo p eine Constante. Dann haben wir, um die Empfindungssumme $\Sigma\gamma$ in dem Intervall von $x = A$ bis $x = B$ zu bestimmen, unter Setzung von $k = 1$, $b = 1$:

$$\Sigma\gamma = \int_A^B \log px \,.\, dx$$

$$= B\,(\log pB - 1) - A\,(\log pA - 1)$$

oder, wenn wir mit a die Grundzahl der angewandten Logarithmen, hiemit die Grösse des Reizes bezeichnen, für welchen die Empfindung eines Punctes $= 1$ gesetzt wird (vergl. S. 18 f.)

$$\Sigma\gamma = B \log \frac{pB}{a} - A \log \frac{pA}{a}$$

Und dividiren wir diesen Ausdruck mit $B - A$, so erhalten wir die mittlere Empfindung im Intervall $B - A$.

Nun ist bei gleichförmiger Vertheilung eines Reizes von der Intensität β^1 die Empfindungssumme im Intervalle $B - A$

$$\Sigma\gamma = (B - A) \log \beta^1.$$

Um also die Reizintensität β^1 zu finden, welche bei gleichförmiger Vertheilung in diesem Intervalle dieselbe Empfindungssumme liefert, als die Intensität px, haben wir beide vorigen Werthe $\Sigma\gamma$ gleich zu setzen, was für den gesuchten Werth β^1 giebt

$$\log \beta^1 = \frac{B \log pB - A \log pA}{B - A} - 1.$$

Bei Anwendung dieser Formeln ist in Rücksicht zu ziehen, dass, wenn wir die Empfindungssumme von dem Puncte an nehmen wollten, wo der Reiz Null ist, also A Null setzen wollten, indess wir den Werth von B, bis zu dem wir den Reiz wachsend denken, oberhalb der Schwelle annähmen, wir negative und positive, bewusste und unbewusste Werthe der Empfindung, in der Summe vereinigt erhalten würden, was keinen Aufschluss über die Summe der bewussten Werthe insbesondere geben würde. Daher haben wir die Empfindungssumme in zwei Theile zu theilen, eine unbewusste von $A = 0$ bis $B = 1$, sofern der Schwellenwerth $= 1$ gesetzt ist, und eine bewusste von $A = 1$ bis zu einem beliebigen Werthe von B, innerhalb deren wir auch beliebige Intervalle herausheben können, indem wir $A > 1$ setzen.

Da die Einheit der Ausdehnung willkührlich ist, so können wir diejenige = 1 setzen, durch welche der Reiz vom Nullwerthe bis zum Schwellenwerthe 1 gelangt, womit $p = 1$ wird, und die Werthe B und A zugleich die Gränzen der Ausdehnungen und die zugehörigen Reizgrössen, zwischen welchen man die Summen nimmt, bezeichnen. Nehmen wir die Empfindungssumme von der Schwelle 1 an, so haben wir $pA = 1$. Vereinigen wir beide Voraussetzungen, so wird auch $A = 1$, und erhalten wir die Formeln

$$\Sigma\gamma = B(\log B - 1) + 1$$

$$\beta' = \frac{B^{\frac{B}{B-1}}}{e}$$

Die erste giebt unter Anwendung natürlicher Fundamentaleinheiten, wo die Empfindungseinheit beim Cardinalpuncte liegt, für $B = e$ den Werth $\Sigma\gamma = 1$, d. h. wenn der Reiz vom Schwellenwerthe bis zum Cardinalwerthe gleichförmig ansteigt, wozu er eine e-mal so grosse Zeit oder Strecke braucht, als um vom Nullpuncte bis zum Schwellenpuncte zu steigen; so wird dadurch eine Empfindungssumme erzeugt, welche derjenigen gleich ist, die man erhalten würde, wenn die (als 1 gesetzte) Empfindungsintensität des Cardinalpunctes während der (als 1 gesetzten) Zeit oder Strecke gleichförmig fortbestünde, die der Reiz braucht, um vom Nullpuncte gleichförmig bis zur Schwelle anzusteigen. Die zweite Formel giebt als Reiz, der bei gleichförmigem Bestande durch dieselbe Zeit oder Strecke dasselbe leisten würde, als der vom Schwellen- zum Cardinalpuncte gleichförmig ansteigende Reiz

$$\beta' = e^{\frac{1}{e-1}}$$

Grössere Allgemeinheit und allgemeinere Anwendbarkeit hat die Lösung folgender Aufgabe. Der Reiz wachse nicht von Null an, sondern von einem gewissen Werthe R an der Strecke proportional, so dass er, wenn der Anfangspunct der Strecke da, wo das proportionale Wachsthum beginnt, genommen wird, zu Ende der Strecke x den Werth

$$R + px$$

hat. Die Summe der Empfindung werde dann innerhalb dieser Strecke gesucht. Da jeder variable Reiz von einem gegebenen Ausgangspuncte innerhalb einer hinreichend kleinen Strecke als derselben proportional sich ändernd angesehen werden kann

(vergl. Kap. 15), so gewinnt eben hiemit diese Aufgabe grosse Allgemeinheit.

Die Empfindungssumme ist in diesem Falle allgemein, zwischen $x = A$ und $x = B$ genommen:

$$\frac{R+pB}{p}[\log(R+pB)-1]-\frac{R+pA}{p}[\log(R+pA)-1]$$

oder, wenn man sie vom Anfange des proportionalen Wachsthumes, wo $A = 0$ nimmt, blos

$$\frac{R+pB}{p}[\log(R+pB)-1]-\frac{R}{p}[\log R-1]$$

Ungeachtet in den Formeln dieses Kapitels der Rückgang auf das Elementare nicht vorausgesetzt ist, den wir im 16. Kapitel S. 29 ff. vorgreiflich in Betracht genommen haben (da es sich hier nicht handelte, das Zustandekommen der Empfindung in den einzelnen Puncten oder Elementen selbst psychophysisch zu berechnen, wozu jene Formeln brauchbar sein können), so würden doch diese Formeln auch Anwendung zu finden haben, wenn ein solcher Rückgang überhaupt statthaft sein sollte; und wir würden dann nur nöthig haben, für β in vorigen Formeln v in seiner Bedeutung als Geschwindigkeit erster oder zweiter Ordnung zu substituiren. Auf eine Summation dieser Art wird in einem späteren Kapitel eingegangen.

XXI. Vertheilungsverhältnisse der Empfindung.

Dasselbe Quantum Lichtes kann sich auf wenige Puncte der Netzhaut concentriren oder über eine grössere Fläche derselben vertheilen, kann sich gleichförmig oder ungleichförmig vertheilen, und es lassen sich aus unseren bisher entwickelten Formeln manche nicht uninteressante Resultate über die hiebei obwaltenden Verhältnisse ziehen, welche einer Verallgemeinerung auch auf andere Gebiete fähig sind; übrigens theilweise nur unter anderen Formen auf Resultate zurückführen, zu denen uns schon die Betrachtung der Werthe $\frac{\gamma}{\beta}$ im 19. Kapitel geführt hat.

In soweit es sich um die Gesichtsempfindung handelt, werden dabei die Voraussetzungen gemacht, 1) dass die grössere oder geringere Anzahl der vom Lichte getroffenen Netzhautpuncte und mithin auch Grösse einer erleuchteten Fläche derselben keinen Einfluss auf die Intensität der Empfindung, welche uns jeder ein-

zelne Punct erweckt, äussere; 2) dass die Netzhautpuncte, auf welche die Verbreitung statt hat, gleiche Empfindlichkeit besitzen.

Beide Annahmen sind zweifellos nicht streng richtig, oder nicht in Strenge zu verwirklichen, können aber in vielen Fällen als approximativ richtig gelten, und sind jedenfalls als die einfachsten Annahmen zuerst zu behandeln.

Was die erste Annahme anlangt, so kann man zum Beweise, dass die Grösse einer Fläche auf ihre Sichtbarkeit Einfluss hat, anführen, dass kleine Lichtflächen in einer Entfernung für das Auge verschwinden, wo grössere von gleicher photometrischer Intensität noch gesehen werden; doch ist noch nicht hinreichend entschieden, wie weit die für kleine, dem Auge eben entschwindende, Lichtflächen mehr in Betracht kommende Zerstreuung des Lichtes durch Irradiation Schuld an dem Unterschiede sei, worüber eingehendere Erörterungen im 11. Kapitel des vorigen Theiles zu finden sind. Man kann ferner darauf hinweisen, dass nach E. H. Weber's Erfahrungen warmes Wasser bei Eintauchen der ganzen Hand wärmer als bei Eintauchen eines Fingers erscheint; was anzudeuten scheint, dass die Intensität der Empfindung durch Vermehrung der Zahl der empfindenden Puncte wächst. Inzwischen kann man bemerken, dass der Temperaturunterschied zwischen der in warmes Wasser eingetauchten Fläche und dem übrigen Körper durch die ausgleichende Blutströmung vermindert werden muss, mehr und schneller aber bei einer kleinen als bei einer grossen eingetauchten Fläche, wie ein Glas warmes Wasser unter denselben äusseren abkühlenden Einflüssen leichter erkaltet als ein Fass; und es ist die Frage, wie viel etwa hieran hängen kann, bis jetzt wenigstens noch nicht discutirt und erledigt. Wie es sich aber auch hiemit bezüglich der Wärmeempfindung der Haut verhalte, so ist gewiss, dass diese Erfahrung auf das Gesicht keine Anwendung leidet, da im Gegentheile Weiss durch Nachbarschaft von Weiss (nach Contrastgesetzen) eher an Helligkeit verliert als gewinnt. Inzwischen wird auch diess keineswegs unter allen Umständen bemerklich, und im Allgemeinen wird man keinen irgendwie entschiedenen Unterschied der Helligkeit zwischen grösseren und kleineren Stücken weissen Papieres zu entdecken vermögen, sei es, dass man sie neben oder nach einander mit dem Centraltheile der Netzhaut auffasse. Eine bestimmtere Angabe hierüber liegt von Steinheil nach Messung mit seinem

Prismenphotometer vor, welche besonderes Zutrauen verdient, da es diesem genauen Beobachter daran gelegen war, sich zu vergewissern, welche Umstände von Einfluss auf die photometrische Schätzung sind*). Hienach »hat die Grösse und Lage der Lichtflächen gegen einander keinen entschiedenen Einfluss auf das Urtheil über gleiche Intensität«; eben so wenig die Entfernung, in der man sich die Lichtfläche denkt, und auf die man demgemäss das Auge accommodirt, eben so wenig ein Hin- und Herschwanken des Auges. Diess dürfte die Behauptung rechtfertigen, dass man die erste Annahme mindestens in vielen Fällen als approximativ richtig ansehen könne; wenn schon ich selbst sie nicht als streng richtig betrachte.

Was die zweite Voraussetzung anlangt, so kann sie insofern nicht als streng zu verwirklichend angesehen werden, als die Netzhautpuncte in verschiedenem Abstande vom Centrum eine verschiedene Empfindlichkeit besitzen. Inzwischen für nicht zu grosse Ausdehnungen wird sie ebenfalls als approximativ zutreffend gelten können.

Uebrigens ist die Anwendung der folgenden Vertheilungsformeln auf die Netzhaut nur ein Beispiel einer viel allgemeineren Anwendbarkeit derselben, worauf ich weiterhin komme.

Sei nun der Reiz mit der Intensität β erst auf einem Puncte (diesen im Sinne von S. 59 verstanden) oder allgemeiner auf einer gewissen als Einheit gesetzten Zahl Puncte gleichförmig verbreitet, so wird unter Anwendung der Fundamentaleinheiten die von der Reizintensität abhängige Empfindungsstärke $\log \beta$ sein, und indem diese über der ganzen als Einheit zusammengefassten Anzahl Puncte stattfindet, wird sie mit der Stärke zugleich die Summe oder das Quantum der Empfindung vor der Vertheilung ausdrücken.

Wenn sich nun der Reiz von der einfachen Zahl Puncte auf die $n$fache Zahl vertheilt, so kommt auf jeden einzelnen Punct statt β blos noch $\frac{\beta}{n}$, und die Intensität der Empfindung wird für diesen Punct $\log \frac{\beta}{n}$. Da aber diese Intensität sich auf der $n$fachen Zahl von Puncten wiederholt, so erhalten wir für das Gesammtquantum G der Empfindung den Ausdruck

---

*) Elemente der Helligkeitsmessungen in den Abh. d. Münch. Akad. 1837. S. 110.

$$G = n \log \frac{\beta}{n} = n\,(\log \beta - \log n).$$

und als Verhältniss des vertheilten zu dem ursprünglichen Empfindungsquantum

$$\frac{G}{\gamma} = \frac{n\,(\log \beta - \log n)}{\log \beta}.$$

Diess Verhältniss weicht im Allgemeinen von der Einheit ab, wonach man sieht, dass durch die Vertheilung eines Reizes auf eine andere Zahl Puncte sich das Empfindungsquantum im Allgemeinen ändert.

Nun fragt sich, nimmt das Empfindungsquantum ab oder zu durch die Vertheilung? Die Antwort ist: je nach den Fällen.

Wenn wir einen stark concentrirten Reiz auf die doppelte Zahl Puncte vertheilen, verdoppelt sich merklich das Empfindungsquantum, und wächst überhaupt bei nicht zu starker Vertheilung eines starken Reizes merklich im Verhältnisse der Vertheilung; bei zu weit getriebener Vertheilung aber nimmt es wieder ab, und immer lässt sich die Vertheilung so weit treiben, dass es unmerklich wird.

In der That, setzen wir β sehr gross, und n nicht zu gross, so können wir $\log n$ merklich gegen $\log \beta$ vernachlässigen; dann wird G das $n$fache von γ. Lassen wir aber n immer mehr wachsen, so wird endlich $\log n = \log \beta$, womit die Empfindung Null wird, und wächst n noch weiter, so sinkt G gar ins Negative, das ist Unbewusste.

Den Fall einer Vergrösserung der Empfindungssumme durch die Vertheilung eines starken Reizes können wir uns an einem recht hellen Sterne erläutern. Wenn ein Stern photometrisch recht hell ist, macht es für die Empfindung wenig Unterschied, ob man sein Licht verdoppelt oder halbirt. Denn seine Empfindung $\log \beta$ geht dadurch in $\log 2\beta$ oder $\log \frac{\beta}{2}$ über; für Ersteres kann man schreiben $\log \beta + \log 2$, für Letzteres $\log \beta - \log 2$; ist aber β gross, so ist $\log 2$ gegen $\log \beta$ zu vernachlässigen. Daher auch die grosse Schwierigkeit, starke photometrische Intensitäten genau photometrisch zu vergleichen, da der Vergleich doch nur mittelst der Empfindung geschehen kann. Denken wir uns nun einen so hellen Stern, dass er für die Empfindung in keinem erheblichen Verhältnisse sich verdunkelt, wenn man sein Licht halbirt, und das weggenommene Licht zur Herstellung eines anderen Sternes

verwendet; so werden wir jetzt zwei Sterne mit merklich gleicher Helligkeit als den ersten sehen, und also durch Vertheilung auf zwei Puncte die Summe empfundener Helligkeit merklich verdoppelt sehen.

Dass durch zunehmende Vertheilung des Reizes die Empfindung endlich Null und darüber hinaus negativ werden muss, folgt natürlich daraus, dass der Reiz durch die wachsende Vertheilung endlich auf den Schwellenwerth und darüber hinaus unter denselben kommen muss. Nach der Vertheilungsformel tritt der Nullwerth der vertheilten Empfindung G dann ein, wenn $\log n = \log \beta$. In der That entspricht diess dem Puncte, wo der ursprüngliche Reiz β auf den Schwellenwerth 1 herabgekommen ist. Im Falle der Lichtempfindung lässt sich dieser Fall nicht an der absoluten Lichtempfindung nachweisen, weil das Augenschwarz immer über der Schwelle bleibt, und sich nicht vertheilen lässt, sondern nur an der Differenz der äusserlich erweckten Lichtempfindung von dem Augenschwarz; ausserdem aber findet man wirklich überall, dass ein Reiz nur hinreichend vertheilt zu werden braucht, um für die Empfindung unmerklich zu werden.

Wenn durch Vertheilung eines starken Reizes das Empfindungsquantum bis zu gewissen Gränzen zunimmt, darüber hinaus abnimmt, so muss es ein Vertheilungsverhältniss n geben, was wir N nennen wollen, wo es das grösstmögliche ist. Dieses Vertheilungsverhältniss findet sich nach bekannter Regel durch Differenzirung des Werthes G bezüglich n und Nullsetzung des Differenziales. So erhält man

$$N = \frac{\beta}{e}$$

wo e gleich der Grundzahl der natürlichen Logarithmen.

Diese Formel sagt uns zuvörderst, dass das günstigste Vertheilungsverhältniss der Intensität des Reizes β proportional ist. Ist also eine gegebene Anzahl Puncte mit gegebener Intensität gereizt, so wird bei doppelter Intensität die Vertheilung auf die doppelte Zahl Puncte geschehen müssen, um das grösstmögliche Quantum Empfindung zu erzeugen.

Sie sagt uns zweitens, dass die Zahl, welche das günstigste Vertheilungsverhältniss ausdrückt, gefunden wird, wenn der Fundamentalwerth, welchen der Reiz vor der Vertheilung hat*), mit

*) Da $b = 1$ gesetzt ist, drückt β hier überall Fundamentalwerthe aus.

der Grundzahl der natürlichen Logarithmen $e = 2{,}71828\ldots$ dividirt oder mit $0{,}36288\ldots$ multiplicirt wird. Mag der Reiz stark oder schwach sein, immer wird man hiedurch die vortheilhafteste Vertheilung erhalten. Sie sagt uns drittens, dass, je nachdem das Verhältniss des Reizes zu seinem Schwellenwerthe grösser oder kleiner als $2{,}71828\ldots$ ist, der Reiz sich auf mehr Puncte ausbreiten oder auf weniger concentriren muss, um das vortheilhafteste Vertheilungsverhältniss zu erzielen; denn erstenfalls fällt N grösser aus als 1, letztenfalls kleiner.

Zwischen beiden Fällen liegt der Fall, wo β gerade $= e$, d. i., wo eben das günstigste Vertheilungsverhältniss schon besteht.

Nun liegt beim Werthe $\beta = e$ der Cardinalwerth des Reizes und der Empfindung, wo das relative Maximum der Empfindung zum Reize stattfindet; und so finden wir hier das früher (Kap. 19) gefundene Resultat nur auf etwas anderem Wege wieder, dass der Reiz am vortheilhaftesten für Erzeugung der grösstmöglichen Empfindung wirkt, wenn er mit der Intensität des Cardinalwerthes wirkt. Hat er gerade diese Intensität, so ist er weder zu concentriren, noch zu vertheilen, um das grösstmögliche Empfindungsquantum zu geben.

Das grösstmögliche Quantum selbst, was bei dem Vertheilungswerthe $N = \frac{\beta}{e}$ stattfindet, erhalten wir, indem wir diesen Werth für n in den Ausdruck für $G = n \log \frac{\beta}{n}$ substituiren. So findet sich als Maximum von G

$$\frac{\beta \log e}{e}$$

d. i.

$$0{,}15996\,\beta$$

unter Anwendung gemeiner Logarithmen, oder

$$0{,}36788\,\beta$$

unter Anwendung natürlicher Logarithmen, welche Werthe deshalb von einander abweichen, weil sich unsere, zum Fundamentalwerthe angenommene, Empfindungseinheit, und hiemit auch die Masszahl der Empfindung, nach dem logarithmischen Systeme ändert.

Auch sind vorstehende Ausdrücke, um ihnen einen bestimmten Werth unterzulegen, auf die zu Grunde gelegte Einheit des Empfindungsquantum zu beziehen, welche stattfindet, wenn für alle als Einheit zusammengefasste Puncte vor der Vertheilung die Fundamentaleinheit der Empfindung besteht.

Welches Verhältniss β nun auch der Reiz vor der Vertheilung zu seinem Schwellenwerthe habe, so wird nach vortheilhaftester Vertheilung das Gesammtquantum Empfindung das 0,15996 β-fache dieser Einheit sein, wenn man die Empfindungseinheit bei dem 10fachen der Reizschwelle setzte, hingegen das 0,36788 β-fache, wenn man sie bei dem 2,71828... fachen der Reizschwelle setzte.

Indem vor der Vertheilung das Gesammtquantum der Empfindung den Ausdruck $\log \beta$ hatte, haben wir in

$$\frac{\beta}{e}\,\frac{\log e}{\log \beta} \text{ oder } \frac{\beta}{\log \beta}\,\frac{\log e}{e}$$

den Ausdruck für das Verhältniss zwischen dem Quantum der Empfindung nach günstigster Vertheilung und vor der Vertheilung des Reizes, wo die Logarithmen in einem beliebigen Systeme genommen werden können, ohne dass der Werth verschieden ausfällt, da das Verhältniss der Logarithmen gegebener Zahlen in allen logarithmischen Systemen dasselbe ist.

Die Formel $\frac{\beta \log e}{e}$ für das Maximum des Empfindungsquantum, wozu wir oben gelangt sind, ist aus mehreren Gesichtspuncten von Interesse. Der Reiz β tritt hier aus dem logarithmischen Verhältnisse heraus, und die Empfindung wird demselben einfach proportional, da $\log e$ und e Constanten sind. Hienach ist man principiell im Stande, das Gesammtquantum der Empfindung der dazu verwandten Reizgrösse wirklich ganz proportional steigen zu lassen, wenn man nur den Reiz fortgehends so vertheilt, dass immer das Maximum der Empfindung dadurch gewonnen wird.

Wendet man natürliche Logarithmen an, womit $\log e = 1$ wird, so erhält das Empfindungsmaximum denselben Ausdruck $\frac{\beta}{e}$ als die Vertheilungszahl N, bei der dieses Maximum eintritt.

Je nachdem β grösser oder kleiner als e, ist unter derselben Voraussetzung das Maximum das Empfindungsquantum, was sich mit gegebenem β erreichen lässt, grösser oder kleiner als die Einheit des Empfindungsquantum, und für $\beta = e$ dieser Einheit gerade gleich.

Unter und über dem vortheilhaftesten Vertheilungsgrade müssen sich zwei Vertheilungsgrade entsprechen, welche ein gleiches Empfindungsquantum geben.

Gehen wir von irgend einem Vertheilungsgrade als ursprünglichen aus, in dem das Empfindungsquantum $\log \beta$, so ist es nach

der Vertheilung auf die n fache Zahl Puncte $n \log \frac{\beta}{n}$, und für den Fall, dass beide Vertheilungen ein gleiches Empfindungsquantum geben sollen

$$\log \beta = n \log \frac{\beta}{n}$$

zu setzen, aus welcher Gleichung n zu bestimmen ist, um damit das Verhältniss zu haben, in dem sich der Reiz von der ersten Vertheilung zur zweiten weiter zu vertheilen hat. Nach einigen analytischen Operationen mit Rücksicht auf die Eigenschaften der Logarithmen und Potenzen führt diess schliesslich zu

$$\beta = n^{\frac{n}{n-1}}$$

eine Formel, welche unsere Aufgabe insofern löst, als sie gestattet, für jedes Vertheilungsverhältniss n, was das bei der ursprünglichen Vertheilung 1 stattfindende Empfindungsquantum wieder herstellt, den zugehörigen Reizwerth β (im Verhältnisse zu seinem Schwellenwerthe verstanden) zu berechnen, und mit der früher S. 55 gefundenen übereinkommt. Setzt man z. B. $n = 2$, so ist $\beta = 4$; d. h. wenn ein Reiz, dessen Intensität das Vierfache seines Schwellenwerthes beträgt, sich auf die doppelte Zahl Puncte vertheilt, so findet dasselbe Empfindungsquantum als ohne Vertheilung statt, welches aber beidesfalls kleiner ist, als das Maximum des Empfindungsquantum. Indem nun 1 bei hohem n merklich gegen n verschwindet, vereinfacht sich für diesen Fall die Formel zu folgender Approximativformel

$$n = \beta$$

welche sagt: ein Reiz muss, um nach starker Vertheilung dasselbe Empfindungsquantum als ohne Vertheilung zu geben, in einem Verhältnisse vertheilt werden, welches seinem Verhältnisse zum Schwellenwerthe nahe kommt. d. h. selbst fast bis zum Schwellenwerthe herabkommen, wobei die grosse Zahl der gereizten Puncte die Schwächung der Intensität compensirt.

Die Herleitung der allgemeinen Formel $n^{\frac{n}{n-1}} = \beta$ aus der Gleichung $\log \beta = n \log \frac{\beta}{n}$ ist diese:

Zunächst lässt sich letztere Gleichung in

$$\log \beta = \log \left(\frac{\beta}{n}\right)^n$$

umwandeln, woraus folgt

$$\beta = \left(\frac{\beta}{n}\right)^n = \frac{\beta^n}{n^n}$$
$$n^n = \beta^{n-1}$$
$$n^{\frac{n}{n-1}} = \beta.$$

Obwohl wir bis jetzt keine Mittel besitzen, die vorigen Maximumbestimmungen durch directe Erfahrung zu bewähren, so hängen sie doch nothwendig mit ihren Voraussetzungen zusammen, und lassen sich gleich gültig als sie ansehen. Nun bietet sich eine Frage von Interesse dar. Ist die Lichtempfindung, die unabhängig vom äusseren Lichtreize normalerweise im Auge besteht, die Empfindung des Augenschwarz, unter oder über der vortheilhaftest möglichen. Der nähere Sinn der Frage ist dieser:

Wodurch auch die Empfindung des Schwarz in uns erregt wird, insofern sie nach den früheren Erörterungen noch als eine vom Nichtssehen wohl zu unterscheidende geringe Lichtempfindung anzusehen, können wir auch in jener inneren Ursache das Aequivalent eines äusseren Lichtreizes sehen, welcher im Stande gewesen sein würde, dieselbe schwache Lichtempfindung zu erzeugen. Nun würde ein solcher bei gegebener Grösse das Maximum der Empfindung erzeugt haben, wenn er so vertheilt gewesen, dass seine Intensität gleich dem 2,71828 . . . fachen seines Schwellenwerthes, und damit würde eine gewisse Intensität der Lichtempfindung entstehen. Es fragt sich dann, ist das Schwarz im Auge heller oder dunkler als diese vortheilhafteste Intensität? — Oder auch, wenn wir unmittelbar auf die psychophysische Thätigkeit reflectiren, an welcher die innere Lichtempfindung hängt, würde die Summe derselben wachsen oder abnehmen, wenn diese Thätigkeit sich mehr vertheilte oder concentrirte?

Obwohl wir hierüber nicht sicher entscheiden können, so scheint mir doch das Zusammentreffen zweier Gesichtspuncte eine gewisse Wahrscheinlichkeit zu begründen, dass das tiefste Schwarz des Auges gerade der vortheilhaftesten Intensität entspricht, so dass bei jeder inneren Erhellung desselben — und in der That kann sich das Schwarz durch innere wie durch äussere Ursachen erhellen — ein Verlust insofern entsteht, als die psychophysische Thätigkeit, welche diese Erhellung bewirkt, durch grössere Vertheilung eine grössere Summe von Empfindung erzeugt haben würde, bei jedem Herabgehen unter das tiefste Schwarz aber nicht

minder ein Verlust entsteht, indem die Gesichtsempfindung dann überhaupt sich dem Erlöschen nähern würde, eine Annäherung, die wir an den Gränzen des Gesichtsfeldes im geschlossenen Auge wirklich beobachten.

Zuvörderst nämlich muss die Frage jedenfalls aufgeworfen werden, was geschehen würde, wenn sich die Ursache des inneren Lichtes dem Schwellenwerthe noch mehr nähern sollte, als es beim tiefsten Schwarz des Auges, was vorkommt, der Fall. Unmöglich kann das Schwarz sich bis zum Schwellenwerthe weiter vertiefen, weil hier die Gesichtsempfindung vielmehr aufhört, wogegen ein vertieftes Schwarz immer noch Gesichtsempfindung ist. Es muss also einen Wendepunct oberhalb der Schwelle geben, von wo an das Schwarz in Undeutlichkeit überzugehen anfängt, und man wüsste nicht, woran man diesen Wendepunct knüpfen sollte, wenn es nicht unsere Maximumintensität ist, von der ab ein Verlust in anderem Sinne als oberhalb erlitten wird. Empfinden wir doch in gewissem Sinne das tiefste Schwarz wirklich als ein Maximum.

Sollten nicht übrigens die blassen, farblosen Bilder und Schemate, die unseren gewöhnlichen Vorstellungslauf begleiten, und von denen wir doch nicht sagen können, dass sie schwarz erscheinen, jenem Intervalle zwischen der Schwelle und dem Maximumpuncte angehören?

Zum vorigen tritt folgender Gesichtspunct:

Wir finden sonst allgemein die Einrichtungen so in unserem Organismus getroffen, dass mit möglichst wenig Aufwand von Kraft und Mitteln möglichst grosse Leistungen vollzogen werden. Sollte nun wirklich das Schwarz des von Aussen ungereizten Auges jenem Maximum-Werthe entsprechen, so wäre der Fall damit verwirklicht, dass mit möglichst wenig Aufwand inneren Reizes oder äquivalenter lebendiger Kraft der psychophysischen Thätigkeit doch eine möglichst grosse Empfindungssumme erzeugt würde.

Natürlich bleibt diess Alles für jetzt doch nur Hypothese. Sollte sie aber triftig sein, so würden wir, — und diess ist ein neuer Gesichtspunct von Interesse, der wohl veranlassen kann, dem Gegenstande weiter nachzuforschen — im tiefsten Schwarz, was in unserem Auge besteht, zugleich die natürliche Fundamentaleinheit der Lichtempfindung repräsentirt finden, auf die wir früher aus rein mathematischem Gesichtspuncte geführt wurden.

Ausserdem könnten wir das Paradoxon aussprechen, dass das schwärzeste Nachtdunkel die grösstmögliche Helligkeit gewährt, die grösstmögliche nämlich, die sich mit demselben Quantum Lichtreizes erreichen lässt.

Ferner kann man bemerken, dass unter dieser Voraussetzung die schwächsten Lichtempfindungen und Lichterregungen, welche das Augenschwarz übersteigen, einander merklich proportional gehen würden, da um den Cardinalwerth der Empfindung diese Proportionalität nach Früherem stattfindet.

Aehnliche Verhältnisse, als in Betreff der Vertheilung des Reizes durch den Raum müssen auch in Betreff der Vertheilung desselben durch die Zeit stattfinden, und es ist nach einer ganz analogen Herleitung dieselbe Formel massgebend dafür. Man wird weder das grösste Empfindungsquantum erlangen, wenn man einen Reiz zu concentrirt auf einmal, noch wenn man ihn in zu grosser Verdünnung allmälig einwirken lässt. Sondern das Maximum wird er leisten, wenn er mit der 2,718...fachen Stärke seines Schwellenwerthes wirkt. Hiemit ist nicht gesagt, dass er immer in derselben Intensität wirken müsse, falls der Zustand der Reizempfänglichkeit des Organismus, von welchem der Schwellenwerth des Reizes selbst wesentlich abhängt, sich ändern sollte, vielmehr, nach Massgabe als die Reizempfänglichkeit sich abstumpft und hiemit das b der Massformel steigt, wird auch der Reiz steigen müssen, um noch das Maximum von Empfindung zu erzeugen.

Dieselben Principien werden in folgenden Fällen zur Anwendung kommen.

Jeder weiss, dass ein Genussmittel, welches es auch sei, gar zu vertheilt nach Raum und Zeit, sei es zwischen verschiedenen Menschen, sei es in demselben Menschen, im Ganzen keinen erheblichen Genuss gewährt, nicht minder aber auch, dass es nicht dienlich ist, ein Genussmittel auf einen Menschen oder eine Zeit zu sehr zu häufen. Unsere Formel enthält das Princip des rechten Masses, wenn schon eine wirkliche Rechnung danach nicht irgendwie ausführbar sein möchte, und bei einer solchen auch die schnellere Abstumpfung der Reizbarkeit durch gehäuften Reiz mit in Rechnung zu nehmen wäre.

Soll Geld oder Gut, was als Erregungsmittel einer Summe werthvoller Empfindungen zu betrachten ist, vertheilt werden, so

liegt zuvörderst in dem durch unsere Formeln dargestellten Principe begründet, dass man das Meiste mit dieser *fortune physique* für die *fortune morale* leistet, wenn man es den Aermsten zuertheilt, aber weder eine zu grosse Zertheilung, noch eine zu grosse Concentrirung wird dabei das Vortheilhafteste sein. Der Güterbesitz, wo der Mensch eben nothdürftig auskommt, möchte als der Schwellenwerth des Besitzes bei Formeln, die man auf diesen Fall anwenden wollte, zu betrachten sein.

Lassen wir in unserer Vertheilungsformel n einen Bruchwerth bedeuten, so gilt sie für den Fall, dass ein Reiz statt in dem Verhältnisse n vertheilt zu werden, vielmehr in diesem Verhältnisse concentrirt wird.

Hieraus lässt sich ein interessantes Resultat ziehen. Gesetzt ein Reiz concentrirt sich immer mehr auf einen Raum- oder Zeitpunct, so ist die Gränze ein unendliches Concentrationsverhältniss; dann wird $n = \frac{1}{\infty}$ und die Vertheilungsformel giebt $G = \frac{1}{\infty} \log \infty = 0$. Bekanntlich nämlich lässt die mathematische Analyse den Ausdruck $\frac{1}{\infty} \log \infty = 0$ finden.

Dieses Resultat lässt sich nicht rein in der Erfahrung herstellen, weil jeder Reiz, selbst wenn er unmittelbar nur einen einfachen Punct trifft oder zu treffen scheint, doch in einer gewissen Ausdehnung um sich wirkt, irradiirt, so wie mit einer gewissen Nachdauer wirkt, nachklingt, so dass selbst das Punctbild des Sterns strahlig oder als kleiner Kreis erscheint, die Berührung einer Nadelspitze durch Fortpflanzung des Druckes in einem gewissen Umkreise empfunden wird, der momentane Blitz sein Nachbild im Auge, jeder Knall seinen Nachhall im Ohre hinterlässt. Doch kann man die allein mögliche Annäherung an das Resultat darin finden, dass z. B. jeder es vorziehen wird, einen Zahn mit einem Rucke, als sehr langsam ausziehen zu lassen, und jeder instinctiv den schnellsten Tod durch das gewaltsamste Mittel einer langsamen Tödtung vorzieht.

Das Bisherige betraf die aus der Massformel folgende Abhängigkeit des Empfindungsquantum von der Vertheilungs**grösse**, wobei eine gleichförmige Vertheilung des Reizes vorausgesetzt wurde; eine andere Folgerung der Massformel betrifft die Abhängigkeit von der Vertheilungs**weise** des Reizes. Diese Folgerung

beruht darin, dass die Gesammtgrösse der Empfindung ein Maximum wird für möglichst gleichförmige Vertheilung des Reizes.

Zunächst erinnere ich an folgenden Satz:

Wenn eine Summe von n Zahlen a, b, c.... $= S$ gegeben ist, so ist das Product der Zahlen das grösstmögliche, wenn alle Zahlen a, b, c.... einander und mithin dem Mittelwerthe $\frac{S}{n}$ gleich sind.

Z. B. die Summe S sei 12, und der Zahlen seien 3, so wird das Maximumproduct erhalten durch $4 . 4 . 4 = 64$. Das Product $6 . 4 . 2$ würde nur 48, das Product $7 . 4 . 1$ nur 28 geben u. s. f. Dieser Satz gilt auch für Brüche. Wenn z. B. die Zahl 1 in 3 Brüche getheilt wird, so geben $\frac{1}{3} . \frac{1}{3} . \frac{1}{3}$ das Maximum.

Fügen wir nun noch die Erinnerung hinzu, dass die Summe der Logarithmen gegebener Zahlen gleich dem Logarithmus ihres Productes ist und die Zahlen mit den Logarithmen wachsen und abnehmen, so wird die folgende Ableitung keine Schwierigkeit mehr darbieten.

Gesetzt man hat n empfindende Puncte, welche respectiv mit den Intensitäten β, β', β''... gereizt sind, deren Summe S ist, so wird folgendes die Gesammtsumme der Empfindung sein

$$\log \beta + \log \beta' + \log \beta'' \ldots = \log \beta \beta' \beta'' \ldots$$

Das Maximum des Productes $\beta \beta' \beta'' \ldots$ wird nach obigem Satze erhalten, wenn $\beta = \beta' = \beta'' \ldots = \frac{S}{n}$, und hiemit also auch das Maximum von $\log \beta \beta' \beta'' \ldots$, und hiemit das Maximum des Gesammtquantum der Empfindung.

Wenn alle Puncte einer gereizten Fläche sich oberhalb der Schwelle befinden, so unterliegt die Anwendung des vorigen Satzes keiner Schwierigkeit. Wenn aber ein Reiz, der durch gleichförmige Vertheilung über eine grosse Fläche oder durch eine lange Zeit unter die Schwelle treten und also keine bewusste Empfindung geben würde, durch Concentration auf einzelne Puncte dieser Fläche oder Zeit über die Schwelle tritt, so giebt er trotz seiner jetzt ungleichförmigen Vertheilung eine bewusste Empfindung, was dem vorigen Satze zu widersprechen scheint.

Diese Schwierigkeit hebt sich durch folgende Betrachtung: Wenn unter vorigen Voraussetzungen durch die ungleichförmige Vertheilung ein positives bewusstes Empfindungsquantum für gewisse Puncte entsteht, so wächst von anderer Seite die Vertiefung

des Unbewusstseins durch Entziehung des Reizes um so mehr für die übrigen Puncte, welche Vertiefung für die Gesammtheit derselben ihr mathematisches Mass in einem negativen Empfindungsquantum findet, und der Ueberschuss dieses negativen Empfindungsquantum über das positive übersteigt bei der ungleichförmigen Vertheilung das vorausgesetzte negative Empfindungsquantum bei der gleichförmigen. So bleibt die mathematische Richtigkeit des Satzes in Kraft, der nur auf dieses mathematische Verhältniss oder die algebraische Summe bewusster und unbewusster Empfindung geht. Insofern es aber gilt, bewusste und unbewusste Empfindung besonders in das Auge zu fassen, kann er keine Anwendung finden, das Maximum bewusster Empfindung besonders zu bestimmen. Vielmehr zeigt sich, dass es von Vortheil sein kann, einen Reiz in der Art ungleichförmig zu vertheilen, dass gewisse Puncte über die Schwelle treten auf Kosten anderer, die dadurch um so tiefer unter die Schwelle sinken.

Fragt man nun, was das Vortheilhafteste ist, um das grösstmögliche Quantum positiver bewusster Empfindung zu erlangen, ohne Rücksicht auf das Quantum negativer unbewusster Empfindung, was dadurch von der anderen Seite entsteht, so wird man auf die schon gegebenen Bestimmungen zurückgeführt und es wird am vortheilhaftesten sein, wenn die Vertheilungsgrösse und Vertheilungsweise über eine unbestimmt grosse Fläche oder Zeit frei steht, so viel von dieser Fläche oder Zeit unter die Schwelle treten zu lassen, dass der Theil, der sich oberhalb der Schwelle befindet, mit dem 2,71828 . . . fachen seines Schwellenwerthes und möglichst gleichförmig über seine ganze Oberfläche gereizt ist.

Im Uebrigen ist vorgreiflich zu erinnern, was alsbald seine weitere Ausführung finden wird, dass die Seele ausser von Summen auch von Unterschieden der Empfindung afficirt wird, und dass die Empfindung der Unterschiede nicht als etwas in der Summenwirkung Aufgehendes, sondern als etwas Hinzutretendes anzusehen ist; also auch die ganze Empfindungsleistung differenter Reize nicht auf ihre Summenwirkung zurückführbar ist. Aber diese Summenwirkung ist ein Theil oder eine Seite der ganzen Leistung, und die Klarheit fodert, ein Moment derselben nach dem anderen insbesondere in Betracht zu ziehen, insofern es einer abgesonderten Betrachtung fähig ist.

XXII. Unterscheidung von Empfindungsunterschieden und Contrastempfindungen.

Ausser der Summe der Empfindungen, welche in Abhängigkeit von der Summe und Vertheilungsweise des Reizes über verschiedene Zeit- oder Raumpuncte statt hat, gilt es auch, den Unterschied der Empfindungen nach seiner Abhängigkeit von der Verschiedenheit der Reizung an diesen Puncten in Betracht zu ziehen. Aber ehe wir die hierauf bezüglichen Formeln aufstellen, wird es nöthig sein, eine Unterscheidung zu machen, die bisher nicht besonders hervorgehoben worden ist, und die doch wichtig ist.

Eine Empfindung kann sich recht wohl von einer anderen unterscheiden, ohne dass der Unterschied deshalb als Unterschied empfunden wird, ins Bewusstsein tritt. Diess leuchtet unmittelbar bei Empfindungen ein, die in verschiedenen Individuen bestehen. So gross der Unterschied derselben sein mag, er kann doch nicht empfunden werden, sondern die eine Empfindung wird empfunden, die andere wird empfunden, aber der Unterschied derselben wird nicht empfunden, da dazu gehörte, dass die eine mit der anderen in dasselbe Bewusstsein fällt. Nicht minder leuchtet es ein bei Unterschieden von Empfindungen desselben Individuums, die in der Zeit so weit aus einander liegen, dass die eine vergessen ist, wenn die andere eintritt. Zwar ist hier ein gemeinsames Bewusstsein für beide da, aber indem keine Erinnerung von einer zur anderen hinüberreicht, fehlt offenbar ein Band im Bewusstsein, was zur Auffassung eines Unterschiedes derselben wesentlich ist. Und so kann ihr Unterschied eben so wie in zwei verschiedenen Individuen bestehen, und kann doch auch nicht als Unterschied empfunden werden.

Zwei verschiedene Empfindungen werden überhaupt stets entweder auf der Erregung verschiedener Theile eines empfindenden Organes, wie des Auges, der Haut, beruhen, insofern verschiedenen Räumen zugehören, oder werden successiv in verschiedenen Zeiten erregt sein, insofern verschiedenen Zeiten angehören, oder endlich sie werden verschiedenen Räumen und Zeiten zugleich angehören, und die Raum- und Zeitverhältnisse ihrer Erregung werden allwegs einen Einfluss äussern, ob und wie

der Unterschied empfunden wird, indess der wirkliche Unterschied der Empfindungen blos von ihrer wirklichen Grösse, aber gar nicht von den äusseren Verhältnissen ihrer Erregungsweise abhängt. So gilt allgemein, dass der Unterschied simultan mit verschiedenen Organen oder verschiedenen Theilen eines Organes aufgefasster Componenten minder leicht merklich ist, als successiv mit denselben Theilen aufgefasster, wenn die Zwischenzeit nicht zu gross ist, und das allgemeine Vorkommen und die Abänderung constanter Fehler je nach Abänderung der Raum- und Zeitlage der Componenten lässt uns überall den grossen Einfluss dieser Verhältnisse auf die Weise, wie Unterschiede empfunden werden, anerkennen.

Also müssen wir die Möglichkeit und das Dasein verschiedener Empfindungen zugestehen, deren Unterschied doch nicht in das Bewusstsein fällt, und dürfen die Empfindung eines Unterschiedes nicht ohne Weiteres mit dem Unterschiede von Empfindungen identificiren, wenn schon, unter sonst gleichen Umständen, ein stärkerer Unterschied zwischen Empfindungen auch eine stärkere Empfindung des Unterschiedes mitführt, so dass unter Umständen beide einer gemeinsamen Betrachtung unterliegen können. Im Allgemeinen aber ist der Unterschied festzuhalten zwischen Unterschieden, welche zwischen Empfindungen bestehen, ohne als Unterschiede aufgefasst zu werden, und solchen, welche wirklich als Unterschiede ins Bewusstsein treten. Beide sollen, wo es ihre Unterscheidung gilt, als Empfindungsunterschiede schlechthin oder im engeren Sinne und als empfundene Unterschiede oder Empfindungen von Unterschieden bezeichnet werden; auch werden wir für letztere den Ausdruck Contrastempfindungen brauchen können, da das, was man Contrast nennt, wesentlich mit einem, der Empfindung unterliegenden, Unterschiede von Eindrücken, Reizen zusammenfällt. Doch wird Vorstehendes nicht hindern, da, wo es nicht sowohl auf eine Gegeneinanderstellung von Empfindungsunterschieden im eben angegebenen engeren Sinne und empfundenen Unterschieden als vielmehr auf eine gemeinsame Betrachtung derselben ankommt, wie bisher den Namen Empfindungsunterschiede im weiteren Sinne als den allgemeineren für beide zu gebrauchen, indem sich kaum eine andere gemeinsame Bezeichnung für beide finden lassen dürfte und der Zu-

sammenhang doch nicht leicht eine Zweideutigkeit über den Sinn des Gebrauches lassen dürfte.

Mit voriger Unterscheidung löst sich folgender scheinbare Widerspruch.

Lassen wir einen Ton oder ein Licht oberhalb der Schwelle an Stärke immer mehr wachsen, so spüren wir das continuirliche Anwachsen durch alle Zwischenwerthe vom niederen zum höheren Werthe, und jeder kleinste Zuwachs des Reizes bewirkt nothwendig einen Zuwachs der Empfindung, da nur so die Empfindung vom niederen zum höheren Werthe aufsteigen kann. Also wird jeder kleinste Reizzuwachs oder Reizunterschied in einem entsprechenden Empfindungszuwachse, Empfindungsunterschiede gespürt. Von anderer Seite aber hat uns die Thatsache der Unterschiedsschwelle bewiesen, dass nicht jeder kleinste Reizzuwachs, Reizunterschied oberhalb der Schwelle gespürt wird, sondern dass es einer gewissen Grösse desselben bedarf, sonst ist er unmerklich. Ein zu kleiner Licht-, Gewichtsunterschied wird nicht gespürt. Die ganze Methode der eben merklichen Unterschiede beruht hierauf.

Hier scheinen sich zwei Thatsachen direct zu widersprechen. Nach der ersten wird jeder kleinste Reizunterschied oberhalb der Schwelle gespürt, nach der zweiten wird er nicht gespürt, sondern bedarf erst einer gewissen endlichen Grösse. Aber Thatsachen können sich nicht in Wahrheit widersprechen, sondern der Widerspruch kann nur in unserer Auffassung ruhen, indem wir identificiren, was nicht identisch ist, und so löst sich denn jener scheinbare Widerspruch einfach dadurch, dass wir beachten, es handelt sich einesfalls um einen blossen Empfindungsunterschied, zweitenfalls um einen empfundenen Unterschied; die Unterschiedsschwelle aber ist blos eine Sache des letzteren.

In der That, wenn der Ton oder das Licht continuirlich wächst, wächst zwar die Empfindung mit, und wir vermögen uns wohl der gewachsenen Empfindung, nicht aber des Wachsthums als eines solchen besonders bewusst zu werden, der Unterschied geht, wie wir uns ausdrücken mögen, in der Empfindung ununterscheidbar auf, bis das Wachsthum eine gewisse Grösse erreicht oder überschreitet; dann können wir uns auch noch besonders bewusst werden, dass die spätere Empfindung grösser als die frühere ist, und nach dem Continuitätsprincipe

den Schluss ziehen, dass sie auch bis dahin durch alle Zwischengrade gewachsen sein musste, ohne dass wir doch das Wachsthum durch die kleinsten Differenzen mit besonderen Empfindungen verfolgen konnten.

Hienach können wir auch die Empfindungsunterschiede im engeren Sinne, sofern sie zwischen und mit den Empfindungen bestehen, ohne doch als Unterschiede empfunden zu werden, und die wirklich als solche empfundenen Unterschiede als in der Empfindung aufgehende und besonders aufgefasste Empfindungsunterschiede unterscheiden.

Man kann bemerken, dass in dem Falle, wo jeder kleinste Unterschied zwischen zwei Empfindungen wirklich empfunden würde, die Unterscheidung zwischen Empfindungsunterschieden und empfundenen Unterschieden müssig sein, vielmehr der empfundene Unterschied mit dem Empfindungsunterschiede zusammenfallen würde. Nun kann man sich unter allen möglichen Weisen, wie ein Unterschied empfunden werden kann, auch den Fall als Gränzfall denken, dass wirklich schon der kleinste Unterschied, der besteht, auch empfunden würde, welches den grösstmöglichen Grad der Unterschiedsempfindlichkeit bezeichnen würde. Insofern kann ein Empfindungsunterschied stets mit einem solchen Gränzfalle identificirt werden, und Gesetze und Verhältnisse bezüglich der Abhängigkeit der Empfindungswerthe von den Verhältnissen der Reize, welche für jeden Grad der Empfindlichkeit gleich gültig bleiben, auch wenn sie nur an empfundenen Unterschieden constatirt werden konnten, doch eine Uebertragung auf Empfindungsunterschiede gestatten, da wir uns die Empfindlichkeit blos bis zu ihrer Gränze gesteigert zu denken hätten, um die Grösse des empfundenen Unterschiedes mit der des Empfindungsunterschiedes zusammenfallen zu sehen. So hat das Weber'sche Gesetz nur an empfundenen Unterschieden bewährt werden können; aber diess hindert nicht, es auch für Empfindungsunterschiede im engeren Sinne triftig zu halten, und unter Zuziehung des mathematischen Hülfsprincips die Fundamentalformel für kleine Empfindungsunterschiede daraus abzuleiten, welche dann weiter zur Massformel und zu der im folgenden Kapitel zu betrachtenden Unterschiedsformel führt.

Die Auffassung eines Unterschiedes von Empfindungen ist ein besonderer Bewusstseinsact, der, wie wir gesehen, in und mit

dem Dasein der Empfindungen nicht von selbst gegeben ist, sondern noch besondere Bedingungen zum Zustandekommen fodert. Wir können ihn einen höheren Bewusstseinsact als die einfache Auffassung einer Empfindung nennen, sofern er einen Vergleich zwischen einer Mehrheit von Empfindungen, also das Bewusstsein einer Beziehung zwischen denselben, voraussetzt.

Der Begriff der geistigen Höhe tritt hier zum erstenmale nach dem von uns eingeschlagenen Gange auf, und dieses erste Auftreten ist wie jeder Anfang zu beachten. Wir verstehen diesen Begriff fortan allgemein so, dass, wenn A die bewusste Beziehung oder Verknüpfung zwischen den Phänomenen a und b concret einschliesst oder abstract ist, A höher als a und b genannt wird. Wonach unsere ganze Seele, welche die bewusste Beziehung aller ihrer Phänomene einschliesst, das concret Höchste, die Bewusstseinseinheit in uns das abstract Höchste, eine einfache Empfindung überhaupt das Niedrigste ist, was es in uns giebt. In der That haben wir den Unterschied zwischen der abstracten und concreten Fassung der Höhe überall zu machen, je nachdem wir die Beziehung abstract oder das Bezogene mit denken. So können wir auch beim empfundenen Unterschiede die Empfindung des Unterschiedes abstract oder die unterschiedenen Empfindungen mit denken.

Auf eine Auseinandersetzung des ganzen Stufenbaues geistiger Höhe im Menschen ist es jetzt nicht abgesehen, sondern der erste Schritt dieser Leiter und die Richtung des Aufsteigens hat uns zunächst erst zu beschäftigen.

Insofern sich in den folgenden Kapiteln zeigen wird, dass ein empfundener Unterschied des Masses nicht minder fähig ist, als die Empfindungen selbst, zwischen denen er besteht, dass beide Masse getrennt und verbunden werden können; und dass nicht minder auch die Unterschiede zwischen Empfindungsunterschieden empfunden werden können, und diese höheren Empfindungen principiell messbar sind, ist direct dargethan, dass das höhere Geistige, abstract wie concret, dem Masse nicht minder zugänglich ist, als das niedere, und dass es auch an einem Principe hiebei, vom Niederen zum Höheren aufzusteigen, nicht fehlt.

Vertiefen wir die bisherigen Betrachtungen, so werden wir finden, dass die Unterscheidung, die wir zwischen zwei Arten Empfindungsunterschieden zu machen fanden, sich auch auf die

Empfindungen selbst erstreckt, sofern jede Empfindung auch als Empfindungsunterschied von Null und umgekehrt betrachtet werden kann. In der That begegnen wir bei den Empfindungen einer scheinbaren Antinomie derselben Art, als bei den Empfindungsunterschieden, die sich auch auf dieselbe Art lösen lässt.

So wie ein Reiz sich über die Schwelle hebt, tritt nach unserer Massformel Empfindung ein, und wenn er sich noch so wenig über die Schwelle hebt. Aber sich dieser Empfindung in solcher Weise bewusst werden, dass man sie mit anderen, die wir zu einer anderen Zeit haben, oder die in anderen Organtheilen erregt sind, vergleichen und danach von anderen unterscheiden kann, das kann man erst, wenn sie eine gewisse Stärke erreicht hat. Bis dahin mögen wir sie eine in niederem Sinne bewusste, der Kürze halber halbbewusste nennen, darüber hinaus eine höher bewusste, kurz vollbewusste.

Es giebt einen charakteristischen Unterschied zwischen beiden Graden des Bewusstseins. An halbbewusste Empfindungen vermag man sich nicht zu erinnern, an vollbewusste vermag man es. Dieser Unterschied knüpft sich an den Wesensunterschied beider. Um eine Empfindung von einer anderen unterscheiden zu können, muss man sie in Erinnerung über dieselbe superponiren oder mit derselben zusammenhalten können. Die Schwelle des Vollbewusstseins liegt also da, wo die Möglichkeit der Erinnerung erwacht, und hat mithin eine angebbare und sehr wichtige Bedeutung. Unzählige Empfindungen mögen wir als halbbewusste haben, ohne dass wir uns ihrer erinnern können.

Was von Empfindungen gilt, lässt sich auf das ganze Bewusstsein übertragen. Der Moment, wo der Mensch früh Morgens erwacht, ist nicht zugleich der, wo er sich seines Wachens bewusst wird oder bewusst werden kann, sondern dazu muss erst das Wachsein bis zu gewissem Grade gediehen sein oder ein Erweckungsmittel eine gewisse Stärke erreichen. Umgekehrt, wenn jemand einschläft, erlöscht das höhere Bewusstsein, was er von seinem Bewusstsein hat, etwas vor dem vollen Einschlafen. Kein Mensch kann sich je des Momentes erinnern, wo er eingeschlafen und wo er erwacht ist. In der That, man greift wohl, um Schlaf zu erlangen, zum Mittel des Zählens. Schläft man dann wirklich

ein, so wird man sich nie erinnern können, welches die letzten Zahlen waren, die man noch gezählt hat, ehe man eingeschlafen ist.

In einer grösseren Dauer scheint der halbbewusste Zustand bei Trunkenheit und Chloroformirung vorzukommen; da sich Trunkene nach vergangenem Rausche oft absolut nicht dessen erinnern können, was während der Trunkenheit mit ihnen vorgegangen ist und sie selbst vorgenommen haben; und da manche Chloroformirte während der Operation über Schmerzen schreien, von denen sie nachher nichts mehr wissen.

Unstreitig kommt es, damit ein Empfindungsunterschied empfunden, eine Empfindung vollbewusst werden, ja, dass sie überhaupt bewusst werden könne, nicht blos auf die Grössenverhältnisse des Reizes, sondern auch den Grad der Aufmerksamkeit an; aber wir setzen hier, wie früher stets, einen gleichen Grad der Spannung der Aufmerksamkeit, so weit sie von Willkühr abhängt, voraus, um blos das, was von der Grösse der Reize abhängt, in Betracht zu ziehen; da von der Repräsentation der Aufmerksamkeit erst in der inneren Psychophysik die Rede sein kann.

Man kann es auffallend finden und könnte es vielleicht *a priori* unmöglich finden, dass Contrastempfindungen, Empfindungen von Unterschieden eben so gut zwischen successiven als simultanen Eindrücken entstehen können, oder selbst zwischen ersteren noch deutlicher ausfallen können, als zwischen letzteren; denn wie kann ein Vergangenes noch sein Verhältniss zu einem Gegenwärtigen geltend machen? Nun haben wir nicht nöthig, uns für jetzt hierüber in Speculationen einzulassen, da unsere Formeln nur auf der Thatsache fussen und auf die Thatsache gehen, und diese jedenfalls besteht. Inzwischen kann darauf hingewiesen werden, dass der vergangene Eindruck unstreitig noch in Nachwirkungen gegenwärtig fortbesteht, die zu den neuen Eindrücken in Beziehung treten, und es ist sehr wohl denkbar, dass successiv auf denselben Organtheil gemachte Eindrücke unter sonst gleichen Umständen deshalb leichter unterschieden werden, als simultan auf verschiedene Organtheile gemachte, weil die sich zeitlich succedirenden Eindrücke auch räumlich sich succedirende und mithin sich nicht mischende Nachwirkungen hinterlassen, wogegen von simultanen Eindrücken Wirkungen abhängig sind, die ineinandergreifen. Doch soll diess hier blos als eine beiläufige Hypothese aufgestellt werden.

XXIII. Die Unterschiedsformel.

Wenn es gilt, den Unterschied zweier Empfindungen zu messen, die durch zwei, in verschiedenen Zeit- oder Raumpuncten einwirkende, Reize hervorgebracht werden, ohne Rücksicht, ob dieser Unterschied empfunden werde, oder nicht, also einen Empfindungsunterschied im engeren Sinne des vorigen Kapitels, nicht einen empfundenen Unterschied zu messen, so kann selbstverständlich nur die Differenz der absoluten Masse, welche für die einzelnen Empfindungen gelten, dazu dienen. Diese Masse sind durch die Massformel gegeben, und es wird also das Mass des Empfindungsunterschiedes einfach als Differenz zweier durch die Massformel gegebenen Werthe zu bestimmen sein.

Seien die beiden Empfindungen, deren Unterschied es zu bestimmen gilt, γ, γ', die zugehörigen Reize β, β', und, um mit der einfachsten Voraussetzung zu beginnen, sei eine gleiche Empfindlichkeit für β, β' angenommen, mithin b für beide constant, so haben wir nach der ersten Form der Massformel S. 12 die beiden Gleichungen

$$\gamma = k\,(\log \beta - \log b)$$
$$\gamma' = k\,(\log \beta' - \log b)$$

mithin als Differenz von beiden

$$\gamma - \gamma' = k\,(\log \beta - \log \beta')$$
$$= k \log \frac{\beta}{\beta'}$$

welche Formel schon S. 14 in derselben Weise abgeleitet wurde. Zu derselben Formel werden wir auch geführt, wenn wir die zweite Form der Massformel $\gamma = k \log \frac{\beta}{b}$ zu Grunde legen, indem wir dann zunächst erhalten

$$\gamma - \gamma' = k\left(\log \frac{\beta}{b} - \log \frac{\beta'}{b}\right),$$

welche Formel sich wiederum dadurch, dass für die Differenz der Logarithmen der Logarithmus des Quotienten gesetzt wird, auf die vorige reducirt.

Diese Formel wollen wir die e i n f a c h e U n t e r s c h i e d s f o r m e l oder kurz Unterschiedsformel schlechthin nennen.

Anstatt die Unterschiedsformel in angegebener Weise aus der Massformel abzuleiten, kann man sie auch als das Allgemeinere der Massformel unmittelbar durch Integration der Fundamental-

formel erhalten, indem dazu genügt, die Integrationsconstante, die bei Ableitung der Massformel durch Setzung der Empfindung gleich Null bei dem Reize b bestimmt wurde, dadurch zu bestimmen, dass wir allgemein die Empfindung $= \gamma'$ bei dem Reizwerthe β' setzen.

Man sieht, dass der Schwellenwerth b aus der Unterschiedsformel verschwunden ist. Wenn also aus Unbekanntschaft mit dem Schwellenwerthe kein absolutes Mass der Empfindung durch die Massformel selbst möglich ist, kann doch die einfache Unterschiedsformel noch dienen, Empfindungsunterschiede ihrer Grösse nach zu vergleichen, so lange die Reizschwelle nur als constant vorausgesetzt werden kann. Man sieht ferner, dass der Empfindungsunterschied allgemein nicht eine Function des Reizunterschiedes, sondern Reizverhältnisses ist, indem er dem Logarithmus desselben proportional ist.

Hier scheint sich ein Widerspruch darzubieten. Soll unsere Formel allgemeine Gültigkeit behaupten, so muss sie für kleine wie grosse Unterschiede gelten, aber nach der Fundamentalformel gilt für kleine Unterschiede der Ausdruck

$$d\gamma = K\frac{d\beta}{\beta}$$

wonach der Empfindungsunterschied vielmehr dem relativen Reizunterschiede als dem Logarithmus des Reizverhältnisses proportional geht, was allgemein gesprochen sehr verschiedene Verhältnisse sind. Inzwischen lässt sich wie folgt zeigen, dass für den Fall sehr kleiner Empfindungsunterschiede beide Verhältnisse übereinkommen, so dass für diesen Fall die Unterschiedsformel auf die Fundamentalformel zurückkommt.

Seien zwei Empfindungen γ und $\gamma + d\gamma$, von denen sich die zweite nur durch den kleinen Zuwachs $d\gamma$ von der ersten unterscheidet, und seien die zugehörigen Reize β und $\beta + d\beta$, welche sich nur durch die kleine Grösse $d\beta$ unterscheiden, so haben wir, indem wir $\gamma + d\gamma$ und γ als zwei unterschiedene Empfindungen, $\beta + d\beta$ und β als die zugehörigen Reize in die Unterschiedsformel substituiren, zunächst

$$d\gamma = k \log\left(\frac{\beta + d\beta}{\beta}\right) = k \log\left(1 + \frac{d\beta}{\beta}\right)$$

Da aber $\frac{d\beta}{\beta}$ sehr klein ist, so können wir nach S. 5 für $\log\left(1 + \frac{d\beta}{\beta}\right)$

setzen $M\frac{d\beta}{\beta}$, wo M der Modulus. Hiemit erhalten wir $d\gamma = kM\frac{d\beta}{\beta}$ und durch Zusammenziehung von kM in die einfache Constante K

$$d\gamma = K\frac{d\beta}{\beta}$$

welches die Fundamentalformel ist.

Nicht minder als die Fundamentalformel lässt sich die Massformel als ein besonderer Fall der Unterschiedsformel darstellen, und, wie oben bemerkt, die Unterschiedsformel selbst gleich als das Allgemeinere der Massformel aus der Fundamentalformel ableiten. Die Massformel stellt nämlich den Fall der Unterschiedsformel dar, wo eine von beiden Empfindungen, zwischen denen der Unterschied besteht, Null wird, und mithin der zugehörige Reiz den Schwellenwerth erlangt, sofern sich jede einfache Empfindung auch als ein Unterschied vom Nullwerthe der Empfindung fassen lässt. Setzt man nun $\gamma' = 0$ und $\beta' = b$, so ergiebt sich die Uebereinstimmung mit der Massformel unmittelbar. Setzt man $\gamma = 0$ und $\beta = b$, so erhält man zunächst

$$-\gamma' = k \log \frac{b}{\beta'}$$

Da aber nach den Eigenschaften der Logarithmen (S. 4) $\log \frac{b}{\beta'}$ $= -\log \frac{\beta'}{b}$, so haben wir

$$-\gamma' = -k \log \frac{\beta'}{b}$$

und durch Versetzung der Werthe dieser Gleichung mit entgegengesetztem Vorzeichen auf die andere Seite der Gleichung

$$\gamma' = k \log \frac{\beta'}{b}$$

welches wiederum die Form der Massformel ist.

Hienach kann die Unterschiedsformel, wenn schon ableitbar aus der Massformel, die selbst aus der Fundamentalformel ableitbar ist, doch als das Allgemeinere von beiden angesehen werden, und wie sie aus ihnen hervorgegangen ist, solche auch wieder hergeben.

Bei dem Gebrauche der Unterschiedsformel ist nöthig, sich über die Bedeutung der Vorzeichen, welche der Unterschied $\gamma - \gamma'$ annehmen kann, zu verständigen.

Der Werth von $\gamma - \gamma'$ ist positiv oder negativ, je nachdem $\beta > \beta'$ oder $\beta < \beta'$. Ein positiver Werth von $\gamma - \gamma'$ zeigt natürlicherweise an, dass die Empfindung γ überwiegt, welche dem

Reize β zugehört, ein negativer, dass die Empfindung γ' überwiegt, welche dem Reize β' zugehört. Also bedeutet der Gegensatz der Vorzeichen allgemein einen Gegensatz in der Richtung des Empfindungsunterschiedes, wobei beide Empfindungen über der Schwelle, oder beide unter der Schwelle, oder der eine über, der andere unter der Schwelle sein können.

Diese Bedeutung der Vorzeichen ist als die allgemeingültige für den Empfindungsunterschied festzuhalten; nicht aber der Gegensatz der Vorzeichen hier allgemein als Gegensatz des Bewusstseins und Unbewusstseins der Empfindungsunterschiede zu deuten. Nur in dem besonderen Falle, wo sich durch Setzung von $\gamma' = 0$ oder $\gamma = 0$ die Unterschiedsformel auf die Massformel reducirt, nimmt der Gegensatz des Vorzeichens vor der jetzt allein übrigen absoluten Empfindung von selbst die Bedeutung des Gegensatzes von Bewusst und Unbewusst an, weil dieser Gegensatz sich eben nur auf das Verhältniss einer Empfindung zur Nullempfindung, aber nicht zu anderen Empfindungen bezieht.

Sollte man meinen, die mathematische Consequenz gestatte es nicht, vor dem absoluten Werthe einer Empfindung den Gegensatz der Vorzeichen in so besonderer Weise zu verstehen, ohne diese Bedeutung für den Empfindungsunterschied zu verallgemeinern, so wird es wieder nur nöthig sein, sich an ein schon früher gebrauchtes paralleles Beispiel aus der analytischen Geometrie zu erinnern, um das Bedenken gehoben zu sehen. Vor dem absoluten Werthe eines Radius vector im Systeme der Polarcoordinaten bedeutet der Gegensatz des Vorzeichens einen Gegensatz des Reellen und Imaginären; aber diese Bedeutung lässt sich auch nicht für den Unterschied zweier Radii vectores r, r' verallgemeinern; vielmehr bedeutet das Vorzeichen von $r - r'$ auch allgemein nur die Richtung eines Unterschiedes zwischen beiden, ob der eine grösser oder kleiner als der andere ist, und den Gegensatz des Reellen und Imaginären blos dann, wenn r' oder $r = 0$. Diess ist ganz das Analoge von unserem Falle. Zu derselben Auffassung führt die Repräsentation der positiven und negativen Empfindungswerthe durch positive oder negative Ordinaten, während die Reizwerthe die dazu rechtwinkligen Abscissen bilden. Wir können die Differenz zweier positiven Ordinaten gleich $\gamma - \gamma'$ nehmen, und sie wird nach unserer Unterschiedsformel negativ sein, wenn $\beta' > \beta$. Aber diese negative Differenz zwischen zwei positiven

Ordinaten hat doch nach dem Geiste der analytischen Geometrie einen ganz anderen Sinn als die gleich grosse negative Differenz einer einzigen Ordinate von Null, welche nichts Anderes ist, als eine einfache negative Ordinate selbst. Jene Differenz fällt ganz in den Raum, welcher das Bewusstsein repräsentirt, dieser ganz in den Raum, welcher das Unbewusstsein repräsentirt; und die Bedeutung des Unbewusstseins, welche letzterer Differenz zukommt, lässt sich also nicht auf erstere übertragen, steht aber auch nicht im Widerspruche damit; sondern beide Fälle sind besondere Fälle einer allgemeineren Auffassung des Vorzeichengegensatzes. Unsere Auffassung ist also ganz im Geiste der Mathematik, und es würde gar kein Zusammenhang der Formeln und Thatsachen mit einer anderen Auffassung herauszubringen sein.

Im Uebrigen sieht man, dass die Form der Unterschiedsformel ganz dieselbe ist, als die der Massformel, wenn wir für den Empfindungsunterschied $\gamma - \gamma'$ einen einzigen Buchstaben setzen, nur dass an die Stelle des Schwellenwerthes der Massformel der Werth des Reizes tritt, gegen den wir den anderen betrachten, und an die Stelle der Deutung des Vorzeichens auf Bewusst und Unbewusst die Deutung auf die Richtung des Unterschiedes. Unter dieser Rücksicht sind alle Gesetze und Verhältnisse, die sich aus der Massformel für absolute Empfindungswerthe ableiten lassen, auch auf Unterschiede übertragbar und umgekehrt.

Also, da

$$n\,(\gamma - \gamma') = nk \log \frac{\beta}{\beta'} = k \log \left(\frac{\beta}{\beta'}\right)^n$$

so werden wir den Unterschied zweier Empfindungen ver-n-facht finden, wenn das Verhältniss $\frac{\beta}{\beta'}$ der Reize, welche den Empfindungen zugehören, auf die $n$te Potenz steigt, wie wir eine Empfindung ver-n-facht fanden, wenn das Verhältniss des Reizes zum Schwellenwerthe auf die $n$te Potenz steigt.

Eben so können wir Alles, was über den bezugsweisen Gang von Empfindung und Reiz gesagt ist, übertragen auf den bezugsweisen Gang zwischen Empfindungsunterschied und Reiz, indem wir nur den fundamentalen Reizwerth nicht mehr als Verhältnisswerth gegen die Schwelle, sondern gegen den Reiz, in Bezug zu dem der Unterschied betrachtet wird, nehmen.

Ein beachtenswerther Satz, welcher schon früher S. 36 in nur etwas anderer Ausdrucksweise zur Begründung der Massfor-

mel geltend gemacht wurde, ergiebt sich, wenn wir zu einer Reihe Reize β, β', β'', β'''...., gleichviel, ob nach der Ordnung ihrer Grösse geordnet oder nicht, die Empfindungsunterschiede von je einem zum je nächsten nehmen, und diese Unterschiede summiren. Die Summe dieser Empfindungsunterschiede ist dem Empfindungsunterschiede zwischen den äussersten Reizen der Reihe gleich. In der That haben wir blos nöthig, die Summe der Logarithmen von $\frac{\beta}{\beta'}$, $\frac{\beta'}{\beta''}$ etc. in den Logarithmus des Productes aus diesen Quotienten umzusetzen, um diesen Satz bestätigt zu finden.

Die Formel für Empfindungsunterschiede lässt sich leicht zu einer Formel für Unterschiede von Empfindungsunterschieden verallgemeinern.

Setzen wir den Empfindungsunterschied $\gamma - \gamma' = u$, das Reizverhältniss $\frac{\beta}{\beta'} = \varphi$, einen anderen Empfindungsunterschied $\gamma'' - \gamma''' = u'$; das zugehörige Reizverhältniss $\frac{\beta''}{\beta'''} = \varphi'$, so haben wir

$$u = k \log \varphi$$
$$u' = k \log \varphi'$$

mithin

$$u - u' = k\,(\log \varphi - \log \varphi') = k \log \frac{\varphi}{\varphi'} = k \log \frac{\beta\beta'''}{\beta'\beta''}$$

Diese Formel ist allgemeiner, als die für einfache Empfindungsunterschiede geltende Formel, indem sie in dieselbe übergeht, wenn man setzt $u' = 0$, was mitführt $\varphi' = 1$, $\beta'' = \beta'''$.

Nicht minder gelangt man zu einer Verallgemeinerung der Fundamentalformel dadurch, dass man die Unterschiedsformel

$$u = K \log \varphi$$

differenzirt, wodurch man erhält

$$du = K \frac{d\varphi}{\varphi}$$

welche durch Integration dieselbe allgemeine Formel

$$u - u' = k \log \frac{\varphi}{\varphi'}$$

giebt, die wir so eben auf anderem Wege erhielten.

Eine Verallgemeinerung der Unterschiedsformel in anderem Sinne erhalten wir, wenn wir, statt wie bisher, die absolute Empfindlichkeit und mithin den Werth b bei Einwirkung der beiden Reize β, β' gleich zu setzen, verschiedene Schwellenwerthe, respectiv b, b' dafür stattfinden lassen. Dann verschwinden die Schwellenwerthe nicht aus der Formel, und wir erhalten

$$\gamma - \gamma' = k\left(\log \frac{\beta}{b} - \log \frac{\beta'}{b'}\right) \qquad (1)$$

$$= k \log \frac{\frac{\beta}{b}}{\frac{\beta'}{b'}} = k \log \frac{\beta}{b} \cdot \frac{b'}{\beta'} \qquad (2)$$

$$= k \log \frac{\frac{\beta}{\beta'}}{\frac{b}{b'}} = k \log \frac{\beta}{\beta'} \cdot \frac{b'}{b} \qquad (3)$$

$$= k\left(\log \frac{\beta}{\beta'} - \log \frac{b}{b'}\right) \qquad (4)$$

Diess sind blos verschiedene Formen derselben Formel, die wir kurz die Unterschiedsschwellenformel nennen können. Der Ausdruck (2) lehrt uns, dass der Empfindungsunterschied allgemein proportional ist dem Logarithmus des Quotienten aus beiden fundamentalen Reizwerthen $\frac{\beta}{b}$ und $\frac{\beta'}{b'}$, wovon jener durch diesen dividirt das Product $\frac{\beta}{b} \frac{b'}{\beta'}$ giebt. Der Ausdruck (3), dass er dem Logarithmus des Quotienten proportional ist, den man erhält, wenn man das Verhältniss der Reize $\frac{\beta}{\beta'}$ mit dem Verhältnisse der zugehörigen Schwellenwerthe $\frac{b}{b'}$ dividirt. Der Ausdruck (4) endlich, dass der Empfindungsunterschied durch die Verschiedenheit der Empfindlichkeit abnimmt oder wächst, je nachdem der Schwellenwerth b oder b' der grössere ist, indem erstenfalls lo $\frac{b}{b'}$ positiv, letztenfalls negativ ist. Setzen wir nun β als den stärkeren Reiz, so muss der Schwellenwerth b' des schwächeren Reizes grösser sein, damit der positive Empfindungsunterschied wachse, und setzen wir β' als den stärkeren Reiz, so muss wiederum der Schwellenwerth b des schwächeren Reizes grösser sein, damit der negative Empfindungsunterschied wachse. Allgemein also wächst der Empfindungsunterschied durch die Verschiedenheit der Empfindlichkeit oder nimmt ab, je nachdem der Schwellenwerth des schwächeren oder stärkeren Reizes der grössere ist, mithin der stärkere oder schwächere Reiz mit grösserer Empfindlichkeit aufgefasst wird. Stehen die Schwellenwerthe im selben Verhältnisse, als die Reize, denen sie zugehören, so verschwindet der Empfindungsunterschied ganz.

Es gilt also in Betreff der Empfindungsunterschiede nicht dasselbe, was wir früher für die Empfindungssummen fanden,

dass es gleichgültig ist, ob die Empfindlichkeiten für den stärkeren und schwächeren Reiz sich vertauschen.

Uebrigens zeigt dieselbe Formel, dass auch bei Verschiedenheit von b und b' doch der Empfindungsunterschied merklich unabhängig von beiden wird, wenn $\log \frac{b}{b'}$ merklich gegen $\log \frac{\beta}{\beta'}$ verschwindet, d. h. wenn die Reize β, β' in starkem, die Schwellenwerthe b, b' in geringem Verhältnisse differiren.

Die Unterschiedsschwellenformel lässt sich dadurch auf die Form der Massformel reduciren, dass wir den Empfindungsunterschied $\gamma - \gamma'$ durch u, das Reizverhältniss $\frac{\beta}{\beta'}$ durch φ, das Verhältniss der Schwellenwerthe $\frac{b}{b'}$ durch F bezeichnen; indem sich die Form der Unterschiedsschwellenformel

$$\gamma - \gamma' = k \log \frac{\frac{\beta}{\beta'}}{\frac{b}{b'}}$$

hienach übersetzt in

$$u = k \log \frac{\varphi}{F}$$

Nennen wir nun den Quotienten $\frac{\varphi}{F}$, das ist das Verhältniss der Reize dividirt durch das Verhältniss der zugehörigen Schwellenwerthe, kurz das fundamentale Unterschiedsverhältniss, so können wir sagen, dass der Empfindungsunterschied in derselben Weise vom fundamentalen Unterschiedsverhältnisse, als die Empfindung vom fundamentalen Reizverhältnisse abhängt.

XXIV. Die Unterschiedsmassformel.

Nach den Erörterungen des 22. Kapitels über die Unterscheidung von Empfindungsunterschieden und empfundenen Unterschieden oder Contrastempfindungen kann unsere, zum Masse der ersten dienende, Unterschiedsformel nicht zugleich das Mass der letzten gewähren. In der That enthält sie blos eine Abhängigkeit des Empfindungsunterschiedes von der Grösse der Reize, aber keine Abhängigkeit von den Umständen, von welchen die Grösse des empfundenen Unterschiedes noch ausserdem abhängt, und die Thatsache der Unterschiedsschwelle liegt nicht in ihr eingeschlossen, wonach sie auch keine Scheide zwischen bewussten und unbewussten empfundenen Unterschieden gewährt, die doch in der

Wirklichkeit nicht minder als für absolute Empfindungen besteht. Zum Masse der empfundenen Unterschiede hat uns vielmehr eine andere Formel zu dienen, welche diesen Foderungen genügt, und welche ich die Unterschiedsmassformel nenne, da sie für das Mass empfundener Unterschiede dasselbe leistet, als die Massformel für das Mass absoluter Empfindungen.

Mit Rücksicht darauf, dass empfundene Unterschiede so gut ihren Schwellenwerth haben, als absolute Empfindungen, kann man zuvörderst die Unterschiedsmassformel auf eine Analogie mit der Massformel wie folgt begründen.

Bezeichnen wir, wie früher einen Empfindungsunterschied, so jetzt einen empfundenen Unterschied zwischen den Empfindungen γ und γ' mit u, das zugehörige Reizverhältniss $\frac{\beta}{\beta'}$ mit φ, und geben dem Werthe dieses Reizverhältnisses, bei welchem der empfundene Unterschied auf die Schwelle tritt, d. i. der Verhältnissconstante oder Verhältnissschwelle v dasselbe Verhältniss zu φ als die einfache Schwelle b zu dem Reize β in der Massformel hat, so erhalten wir

$$u = k \log \frac{\varphi}{\mathrm{v}} = k \log \frac{\beta}{\mathrm{v}\beta'} = k\,(\log \varphi - \log \mathrm{v})$$

Hiebei ist, wie in der Folge immer, vorausgesetzt, dass der grössere Reiz als Zähler im Werthe von φ verwandt sei, mithin $\varphi > 1$, und $\log \varphi$ positiv sei; was wesentlich ist, wenn bei der vorigen Form der Formel positive Werthe von u bewussten Werthen des empfundenen Unterschiedes entsprechen sollen. Denn, wollte man den kleineren Reiz als Zähler verwenden, so würde $\varphi < 1$, mithin $\log \varphi$ negativ werden, und u um so grössere negative Werthe erlangen, ein je grösseres Verhältniss der eine Reiz zum anderen erhielte, indess doch die Empfindung des Unterschiedes hiemit um so höher über die Schwelle steigt.

An sich hindert jedoch nichts, auch den kleineren Reiz im Zähler zu verwenden, nur hat man bei dieser umgekehrten Stellung beider Reize dann Alles in voriger Formel umzukehren, nämlich, indem man das Reizverhältniss φ in das reciproke $\varphi_1 = \frac{1}{\varphi}$ verkehrt, auch den Werth von v in den reciproken $\mathrm{v}_1 = \frac{1}{\mathrm{v}}$ zu verkehren, und die Stellung von φ_1 und v_1 gegen die von φ und v zu verkehren, also die Formel so zu schreiben

$$u = k \log \frac{v_1}{\varphi_1}$$

welche mit der vorigen gleichen Werth hat, sofern $\frac{v_1}{\varphi_1} = \frac{\varphi}{v}$.

Im Folgenden wird aber die Voraussetzung $\varphi > 1$ und demgemäss Stellung des grösseren Reizes in den Zähler immer festgehalten werden, wonach man, wenn etwa ein in gewisser Weise angebrachter Reiz nach Umständen wechselnd grösser und kleiner als der andere wird, auch seine Stelle als Zähler und Nenner im Werthe von φ zu wechseln hat.

Die obige Aufstellung der Formel setzt ferner allgemein gesprochen den Normalfall voraus, dass, wenn die zwei zeitlich oder räumlich verschiedenen Reize, deren Unterschied es aufzufassen gilt, die Grösse mit einander vertauschen, so dass der grössere Reiz an die Stelle des kleineren tritt und umgekehrt, nur die Richtung, nicht die Grösse des empfundenen Unterschiedes sich ändert. Dieser Normalfall ist keineswegs der allgemeine Fall der Wirklichkeit, da vielmehr in allen Fällen, wo sich bei Versuchen über die Unterschiedsempfindlichkeit sog. constante Fehler in der Auffassung eines Unterschiedes je nach Raum- und Zeitlage der verglichenen Grössen zeigen (vgl. Th. I. S. 90), die Empfindung des Unterschiedes bei gleichem Grössenverhältnisse der Reize verschieden gross ausfällt, je nachdem man den einen oder anderen Reiz zum grösseren macht. Die Bewährung des Weber'schen Gesetzes, auf welchem unsere Formel fusst, setzt aber die Abwesenheit oder Elimination constanter Fehler voraus.

Nun aber lassen sich constante Fehler wirklich immer durch Versuch und Rechnung eliminiren, und so die Fälle mit constanten Fehlern auf den Normalfall zurückführen, in vielen Fällen sind auch constante Fehler zu gering, um eine Berücksichtigung nöthig zu machen, endlich können solche, nachdem die Grundformel für den Normalfall gegeben ist, dann in geeigneter Weise noch besonders berücksichtigt werden (vgl. Kap. 27); wonach die Aufstellung der Formel für den Normalfall immer das bleibt, wovon man auszugehen hat.

Zu derselben Form der Unterschiedsmassformel, die hier blos nach Analogie aufgestellt und mithin noch nicht streng begründet erscheint, einschliesslich der Regel bezüglich der Aenderung der Form der Formel, je nachdem man $\varphi > 1$ oder < 1 macht, lässt sich strenger auf Grund des Weber'schen Gesetzes und der That-

sache der Verhältnissschwelle nach einem analogen Gange als zur Massformel auf die in folgender Einschaltung angegebene Weise gelangen.

Die auf das Weber'sche Gesetz gestützte Fundamentalformel giebt für zwei Empfindungsunterschiede insbesondere

$$d\gamma = K\frac{d\beta}{\beta}$$

$$d\gamma' = K\frac{d\beta'}{\beta'}$$

hienach

$$d\gamma - d\gamma' = K\left(\frac{d\beta}{\beta} - \frac{d\beta'}{\beta'}\right)$$

Indem nun γ und γ' zwei Empfindungen sind, deren Unterschied $\gamma - \gamma'$ ist, kann das Differenzial hievon $d\gamma - d\gamma'$ als das Element eines Empfindungsunterschiedes angesehen werden, dessen Werth $k \log \frac{\beta}{\beta'} = k \log \varphi$ ist. Sofern aber die Hinzufügung einer Constante zu einem Integrale nichts im Differenziale ändert, ist $d\gamma - d\gamma'$ zugleich allgemeiner das Element eines um eine Constante (d. i. von φ oder $\frac{\beta}{\beta'}$ unabhängigen Grösse) vermehrten oder verminderten Empfindungsunterschiedes. Nun lässt sich nach S. 85 der Empfindungsunterschied mit dem besonderen Falle eines empfundenen Unterschiedes identificiren, wo bei kleinstmöglicher Differenz der Reize β, β' ein Unterschied empfunden wird, und ein empfundener Unterschied als der allgemeinere Fall ansehen, wo bei irgend einem bestimmten Werthe von $\frac{\beta}{\beta'}$ die Empfindung des Unterschiedes beginnt und schwindet. Durch Integration des obigen Werthes von $d\gamma - d\gamma'$ und Constantenbestimmung in gleich anzuzeigender Weise erhalten wir den Ausdruck für diesen allgemeineren Fall und hiemit die Unterschiedsmassformel.

In der That, setzen wir $d\gamma - d\gamma' = \pm du$ (sofern an sich kein Grund ist, das eine Vorzeichen vor dem anderen anzuwenden), so haben wir

$$\pm du = K\left(\frac{d\beta}{\beta} - \frac{d\beta'}{\beta'}\right)$$

Diess giebt durch Integration unter Anwendung natürlicher Logarithmen

$$\pm u = K(\log\beta - \log\beta') + C$$

$$= K \log \frac{\beta}{\beta'} + C$$

$$= K \log \varphi + C$$

wo C die Integrationsconstante ist, oder, unter Ersatz natürlicher durch gemeine Logarithmen (vgl. S. 34), und demgemäss Ersatz von K durch k

$$\pm u = k \log \varphi + C$$

Bestimmen wir nun die Constante C, indem wir u gleich Null setzen, wenn φ den Werth v annimmt, so haben wir allgemein

$$o = k \log \mathrm{v} + C$$

mithin

$$C = -k \log \mathrm{v}.$$

Und dieser Werth, in die allgemeine Gleichung substituirt, giebt

$$\pm u = k \log \frac{\varphi}{v} = k (\log \varphi - \log v)$$

Unter Anwendung des oberen Vorzeichens haben wir also

$$+ u = k (\log \varphi - \log v) = k \log \frac{\varphi}{v} \qquad (1)$$

unter Anwendung des unteren und Umkehr des Vorzeichens auf beiden Seiten

$$+ u = k (\log v - \log \varphi) = k \log \frac{v}{\varphi} \qquad (2)$$

Die Formel (1) entspricht der Bedingung, dass $\log \varphi$ positiv ist und mithin der grössere Reiz in den Zähler gesetzt wird, die Form (2) eben so der Bedingung, dass $\log \varphi$ negativ ist, mithin der kleinere Reiz in den Zähler gesetzt wird, weil nur unter dieser Voraussetzung u mit Wachsthum des absoluten Werthes von φ in positivem Sinne wachsen kann, so lange der von uns vorausgesetzte Normalfall besteht. Unterscheiden wir die beiden Fälle, dass der grössere und dass der kleinere Reiz in den Zähler gesetzt wird, dadurch, dass wir erstenfalls die Buchstaben φ und v, zweitenfalls φ_1 und v_1 verwenden, so wird, insofern beide Fälle sich auf dieselbe Empfindung u beziehen, und also ihr Mass blos formell verschieden sein kann

$$k \log \frac{\varphi}{v} = k \log \frac{v_1}{\varphi_1}$$

mithin

$$\frac{\varphi}{v} = \frac{v_1}{\varphi_1}$$

sein müssen, was voraussetzt, da $\varphi_1 = \frac{1}{\varphi}$, dass auch $v_1 = \frac{1}{v}$ sei.

Wenn der Normalfall nicht stattfände, sondern u verschiedene Werthe annähme, je nachdem die Lage des grösseren und kleineren Reizes vertauscht wird, so würden sich die Gleichungen (1) und (2) immer noch zur Aufstellung der Unterschiedsmassformel verwenden lassen, insofern der constante Fehler das Weber'sche Gesetz, wonach bei gleichem φ der empfundene Unterschied gleich gross bleiben muss, für die eine, wie für die entgegengesetzte Lage des grösseren und kleineren Reizes insbesondere bestehen liesse. Dann hätte man nämlich nur nöthig, die Constante v für die entgegengesetzte Zeit- und Raumlage der verglichenen Grössen verschieden zu bestimmen. Sofern aber hiebei der Fall eintreten sollte, dass vermöge des constanten Fehlers innerhalb gewisser Gränzen der kleinere Reiz als der grössere erschiene und der empfundene Unterschied wüchse, wenn sich der Unterschied der Reize verkleinerte statt vergrösserte, würde man für diesen Fall unter Festhaltung der Regel, den grösseren Reiz stets im Zähler zu verwenden, in jenen Gränzen die Gleichung (2) statt (1) anzuwenden haben, oder die Regel, den grösseren Reiz im Zähler zu verwenden, exceptionell in die gegentheilige zu verkehren haben, um noch die Gleichung (1) anzuwenden, damit stets positive Werthe den bewussten Werthen des empfundenen Unterschiedes entsprechen.

Wie bei den früheren Formeln bedarf auch bei der Unterschiedsmassformel die Bedeutung des Vorzeichengegensatzes, wel-

chen der Empfindungswerth annehmen kann, einer besonderen Klärung.

Zur vollen Bestimmtheit des Werthes u ist nicht blos auf das Vorzeichen von u selbst, sondern auch auf das Vorzeichen der Empfindungen, zwischen denen der Unterschied besteht, zu achten. Der empfundene Unterschied u nimmt nach der Herleitung blos dann beim Werthe $\varphi = \mathrm{v}$ den Werth Null als Gränze zwischen bewussten und unbewussten Werthen an, wenn das Verhältniss φ zwischen Reizen oberhalb der Schwelle besteht, denn nur hierauf bezieht sich die erfahrungsmässige Bestimmung der Constante v, wogegen, wenn beide Reize und hiemit die zugehörigen Empfindungen unter die Schwelle fallen, hiemit der ganze Begriff eines empfundenen Unterschiedes verloren geht, und wenn blos ein Reiz oberhalb der Schwelle, der andere auf der Schwelle oder unter der Schwelle ist, es so gut ist, als wenn man blos mit einer einzigen Empfindung, als Differenz von einer Nullempfindung oder von einer gar nicht wirklichen Empfindung, zu thun hätte.

Diess ist desshalb zu erinnern nöthig, weil, nach der Formel $u = k\,(\log \varphi - \log \mathrm{v})$, der Werth von u positiv ausfallen kann, auch wenn beide Reize β, β' unter der Schwelle sind, mithin gar nichts empfunden wird, indem hiezu hinreicht, dass $\varphi > \mathrm{v}$, was sehr wohl der Fall sein kann, wenn sowohl β als β' unter der Schwelle ist, wofern nur β ein grosses Verhältniss zu β' hat. Man darf dann in diesem positiven Werthe von u noch nicht das Zeichen des Bewusstseins finden, weil die Vorbedingung dazu fehlt, das Bewusstsein der Werthe, von denen u abhängt.

Sollte gegen diese verschiedene Deutung des Vorzeichens von u, je nachdem u Function so oder so beschaffener Werthe β, β' ist, noch ein Bedenken bestehen, so wird es sich wieder, wie schon früher so manches entsprechende Bedenken, durch Verweisung auf einen analogen Fall der analytischen Geometrie heben lassen. Auch in dieser kann das Vorzeichen eines Werthes u, welcher Function zweier Werthe β, β' ist, eine sehr verschiedene Bedeutung annehmen, je nachdem die Werthe β, β' so oder so beschaffen sind.

In der That, nehmen wir ein Quadrat mittelst eines, durch seinen Mittelpunct gelegten, den Seiten parallelen Kreuzes in vier kleinere Quadrate getheilt, die durch $r.o$, $l.o$, $r.u$, $l.u$ (rechts oben, links oben, rechts unten, links unten) bezeichnet sein mö-

gen, und suchen wir den analytischen Ausdruck u für die 4 kleinen Quadrate. Der von der Mitte ausgehende rechte Arm des Kreuzes werde seiner Masszahl nach durch $+\beta$ bezeichnet, so wird der linke durch $-\beta$ bezeichnet werden; der von der Mitte nach oben gehende Arm des Kreuzes werde durch $+\beta'$ bezeichnet, so wird der nach unten gehende Arm durch $-\beta'$ bezeichnet werden; und wir werden durch Multiplication dieser respectiv positiven und negativen Masszahlen mit einander erhalten als analytischen Ausdruck u für

$r.o$	den	Werth	$+\beta\beta'$
$l.o$	-	-	$-\beta\beta'$
$r.u$	-	-	$-\beta\beta'$
$l.u$	-	-	$+\beta\beta'$

Also haben die Massausdrücke der ganz entgegengesetzt bezüglich des Mittelpunctes liegenden Quadrate $r.o$ und $l.u$, deren eines eine Function blos von positiven, das andere von negativen Werthen β, β' ist, doch gleiches Vorzeichen, und wir können aus diesem Vorzeichen allein nicht schliessen, ob das Quadrat zu den Räumen aus positiven oder negativen Factoren gehört und welche Lage es in Bezug zu dem Mittelpuncte hat, wenn wir nicht auf das Vorzeichen der Factoren selbst zurückgehen, deren Function es ist. So können wir auch aus dem Vorzeichen von u, als Massausdruck für einen empfundenen Unterschied, allein nicht schliessen, welches Verhältniss der empfundene Unterschied zum Bewusstsein hat, wenn wir nicht auf die Beschaffenheit der Werthe, die darein eingehen, Rücksicht nehmen, und es ändert principiell nichts, dass wir hier im Empfindungsgebiete vielmehr mit der Function eines Quotienten, als eines Productes zu thun haben. Wie wir aber eine volle Bestimmtheit für die Quadrate erhalten, wenn wir mit den Vorzeichen von u zugleich auf die Vorzeichen von β, β' Rücksicht nehmen, so ist es auch mit den empfundenen Unterschieden der Fall, wenn wir u, β, β' für diese verwenden.

Anstatt die Unterschiedsmassformel als Function des Reizverhältnisses und der Verhältnissschwelle aufzustellen, können wir sie auch als Function des relativen Reizunterschiedes und der Unterschiedsconstante wie folgt aufstellen.

Sei der eine Reiz vom anderen um die Grösse α, und die Verhältnissschwelle v von 1 um die Grösse ω verschieden, so hat man

$$\varphi = \frac{\beta + \alpha}{\beta} = 1 + \frac{\alpha}{\beta} \text{ und } v = 1 + \omega.$$

Hierin ist $\frac{\alpha}{\beta}$ der relative Reizunterschied, der kurz ϑ heisse, und ω die Unterschiedsconstante in dem Th. I. S. 244 angegebenen Sinne. Wonach die Unterschiedsmassformel folgende Form annimmt

$$u = k\,[\log(1 + \vartheta) - \log(1 + \omega)].$$

In dem Falle, wo ϑ und ω kleine Werthe sind, deren Quadrate sich gegen die erste Potenz vernachlässigen lassen, geht nach der S. 5 angezeigten Substitution diese Formel über in

$$u = kM\,(\vartheta - \omega) = K\,(\vartheta - \omega)$$

welches der Massausdruck für einen empfundenen Unterschied ist, der den eben merklichen wenig übersteigt, unter Voraussetzung, dass der eben merkliche Unterschied selbst wenig differenten Reizen entspricht, wonach ein solcher Unterschied proportional ist dem um die Unterschiedsconstante verminderten relativen Reizunterschiede, indess ein kleiner in der Empfindung aufgehender Empfindungsunterschied dem unverminderten relativen Reizunterschiede proportional ist*).

Die Unterschiedsmassformel ist als das Allgemeinere der Unterschiedsformel, und hiemit auch der Massformel und Fundamentalformel anzusehen, sofern diese selbst besondere Fälle der Unterschiedsformel sind. In der That geht sie in die Unterschiedsformel für den Fall über, dass v = 1, d. h. dass der empfundene Unterschied bei Gleichheit beider Reize auf die Schwelle tritt, und mithin die kleinstmögliche Abweichung von der Gleichheit gespürt würde, welches gemäss der schon S. 85 gemachten Bemerkung

*) Wenn S. 8 gesagt ist, dass ein kleiner Gewichtsunterschied bei doppelter Grösse als merklich doppelt so gross empfunden werde, so ist diess dahin zu berichtigen, dass ein kleiner Gewichtsunterschied bei doppelter Grösse einen doppelt so grossen Empfindungsunterschied mitführe, indem nur diess *a priori* aus dem mathematischen Hülfsprincipe gefolgert werden kann, nicht aber, dass dieser Unterschied auch als doppelt so gross empfunden werde, wie denn in der That nach obiger Formel ein kleiner Gewichtsunterschied bei doppelter Grösse keineswegs einen doppelt so grossen empfundenen Unterschied mitführt, so lange nicht der Gränzwerth der relativen Unterschiedsempfindlichkeit vorausgesetzt wird. Es hat jedoch jene nur beiläufige unachtsame Verwechselung keinen Einfluss auf die Ableitung der Fundamentalformel und Massformel, welche unter der richtigen Anwendung des mathematischen Hülfsprincipes geschehen ist.

als das Extrem oder der Gränzfall der relativen Unterschiedsempfindlichkeit anzusehen wäre, und womit der empfundene Unterschied so gross wird, als der durch die Unterschiedsformel ausgedrückte wirkliche Unterschied der Empfindungen.

In dem Normalfalle, auf den sich die Aufstellung unserer Formel bezieht, ist v stets grösser als 1, so lange nicht die Gränze der Unterschiedsempfindlichkeit erreicht ist. Wo aber die Reize unter günstigen Verhältnissen, ihren Unterschied aufzufassen, sich befinden, und die Unterschiedsempfindlichkeit gross ist, weicht v immer nur wenig von 1 ab, wie sich z. B. bei den Versuchen über die Unterschiedsempfindlichkeit für das Licht gezeigt hat, wo nach Volkmann $v = \frac{101}{100}$ gefunden wurde. Indem dann log v wenig von Null abweicht, fällt auch die Unterschiedsmassformel nahe mit der einfachen Unterschiedsformel zusammen, und diese kann statt jener approximativ so lange dienen, als nicht auch φ auf einen der Einheit sehr nahen Werth und mithin log φ auf einen der Null nahen Werth herabkommt.

Die Verhältnissschwelle v tritt, wie man sieht, in der Unterschiedsmassformel ganz an die Stelle der Reizschwelle b in der Massformel, und ist eben so massgebend für den Grad der Empfindlichkeit, mit welchem ein gegebenes Reizverhältniss aufgefasst wird, als die Constante b für den Grad der Empfindlichkeit, mit welchem ein gegebener Reiz aufgefasst wird. So wie $\frac{1}{b}$ als Mass der absoluten Empfindlichkeit, kann $\frac{1}{v}$ als Mass der relativen Unterschiedsempfindlichkeit dienen. Alles hat auf den Werth von v Einfluss, wodurch bei gegebenem Reizverhältnisse der empfundene Unterschied abgeändert wird, und es ist also v als eine Constante nur für constante Verhältnisse der Auffassung anzusehen.

Zu den einflussreichen Umständen auf den Werth von v gehört ausser der zeitlichen und räumlichen Differenz der Reize, deren Unterschied es aufzufassen gilt, die Beschaffenheit dessen, was sich dazwischen einschiebt, so wie, was zeitlich und räumlich umliegt. Dieser Einfluss kann so beschaffen sein, dass constante Fehler in der Auffassung des Unterschiedes entstehen, die durch Versuche und Rechnung in der bei den Massmethoden der Unterschiedsempfindlichkeit und im 27. Kapitel angegebenen Weise zu berücksichtigen sind.

Der Grad der absoluten Empfindlichkeit, mit welchem beide

Reize aufgefasst werden, hat, sofern er sich für beide Reize immer gleich bleibt, keinen Einfluss auf den Werth des empfundenen Unterschiedes; indess ein ungleicher Werth derselben für beide Reize einen constanten Fehler begründet, welcher die dafür zu nehmenden Rücksichten nöthig macht.

Wie jede Veränderung der Constante b in der Massformel auch durch eine reciproke Veränderung der Reizwirkung β vertreten werden kann, gilt das Entsprechende von der Veränderung der Constante v, sofern jede Veränderung derselben durch eine reciproke Veränderung von φ vertreten werden kann.

Der Ausdruck für eine vollbewusste Empfindung in dem S. 87 angegebenen Sinne wird, sofern sie sich als besonders aufgefasster Unterschied einer Empfindung oberhalb der Schwelle von einer Empfindung auf der Schwelle, d. i. von einer Nullempfindung fassen lässt, natürlicherweise gefunden, wenn wir in der Unterschiedsmassformel den kleineren Reiz β', zu dem wir den anderen im Verhältnisse betrachten, auf den Schwellenwerth b reduciren, indess wir zugleich die Empfindung γ' auf Null reduciren, mithin für $\varphi = \frac{\beta}{\beta'}$ substituiren $\frac{\beta}{b}$, und für u substituiren γ. So erhalten wir diese Formel

$$\gamma = k \log \frac{\beta}{b\text{v}}$$

Nennen wir bv die Vollschwelle, b wie bisher schlechthin die Schwelle der Empfindung, so wird also das Verhältniss zwischen der Vollschwelle und Schwelle durch die Verhältnissconstante v gegeben sein. Schliessen wir solche Ungleichförmigkeiten der absoluten Empfindlichkeiten und der Zeit- und Raumlage der Reize aus, welche machen können, dass ein grösserer Reiz, als der kleinere erscheint, so wird v stets grösser als 1 sein, wenn $\frac{\beta}{b} > 1$, und also der Reiz vom Werthe b an noch im Verhältnisse v wachsen müssen, um den Beginn des halbbewussten Zustandes der Empfindung in den vollbewussten überzuführen.

Insofern es überhaupt gilt, die Grundformeln des psychischen Masses zuerst für die einfachsten Voraussetzungen aufzustellen, und Alles, was als Abweichung kleiner Ordnung oder Complication die Aufstellung der Grundformeln schon voraussetzt, anfangs zu vernachlässigen und erst nachträglich zu berücksichtigen, ist auch bei der Aufstellung der Unterschiedsmassformel und der sich daran knüpfenden Erörterung bisher ein Umstand nicht berück-

sichtigt worden, der als eine solche Abweichung oder Complication anzusehen ist, und darin besteht, dass das Dasein eines Reizes auf die Empfindlichkeit, mit welcher ein nachbarlicher Reiz aufgefasst wird, einen Einfluss hat, welcher bei ungleichen Reizen, wie sie in die Unterschiedsmassformel eingehen, ungleich für beide Reize ist. So, wenn Weiss und Schwarz neben einander sind, erscheint das Weiss heller, das Schwarz schwärzer, als *in continuo* ohne den ungleichen Nachbarreiz, was man die Hebung der Eindrücke durch den Contrast nennt. Nun ist diese Hebung der Eindrücke von gewisser Seite unstreitig nur Sache eines Vergleichsurtheiles, dass wir nämlich das Schwarz gegen das Weiss, das Weiss gegen das Schwarz als Massstab halten, oder das eine als ein Plus, das andere als ein Minus gegen das Andere fassen; und macht insofern keine besondere Rücksicht bei Aufstellung unserer Formeln nöthig, da dieses Urtheil über das Verhältniss der absoluten Empfindungen auf der Grösse und Richtung des empfundenen Unterschiedes erst beruht, dieser aber nicht von ihm abhängt. Ja man könnte geneigt sein, die ganze Hebung der Eindrücke durch den Contrast hievon abhängig zu machen. Ich werde inzwischen später erfahrungsmässige Thatsachen beibringen, welche diess nicht gestatten, vielmehr nöthigen anzunehmen, dass, abgesehen von jenem Vergleichsurtheile, die Empfindlichkeit für das Licht auf dem Weiss durch Nachbarschaft des Schwarz erhöht, auf dem Schwarz durch Nachbarschaft des Weiss vermindert gegen den Fall ist, dass wir blos Weiss oder Schwarz im Gesichtsfelde haben, hiemit das Weiss wirklich absolut heller, das Schwarz dunkler erscheint, als *in continuo* allein ins Auge gefasst, so dass beide mit diesen abgeänderten Werthen zur Bestimmung des Vergleichsurtheiles selbst erst wirken. Dieser Umstand nun wird unstreitig ebenfalls einflusslos auf die Aufstellung und Verwendung der Unterschiedsmassformel werden, wenn wir dieselbe statt auf den Reiz auf die dadurch ausgelöste psychophysische Bewegung (nach dem dafür statt β in die Formeln zu substituirenden Masse) beziehen, weil die abgeänderte Empfindlichkeit für einen Reiz selbst durch eine andere Grösse von demselben auslösbarer psychophysischer Bewegung repräsentirt werden kann, und voraussetzlich die Grundformeln des psychischen Masses eine reine und strenge Gültigkeit bezüglich der von den Verhältnissen der psychophysischen Bewegung abhängigen Empfindungsverhältnisse ha-

ben. Und selbst ohne den Rückgang auf die psychophysische Bewegung, die erst der inneren Psychophysik aufgehoben bleiben muss, würde es, wenn wir nur die Gesetze kennten, nach denen sich die Empfindlichkeit für die Reize durch Nachbarschaft derselben ändert, hinreichen, demgemäss abgeänderte Werthe von β, β' und mithin φ, oder, was auf dasselbe herauskommt, v in die Unterschiedsmassformel zu substituiren, um sie dann wie früher zu verwenden; auch liegt hienach ein wichtiges Bedürfniss vor, diese Gesetze zu studiren. Auf dieses Studium werde ich später eingehen. So lange sie aber nicht bekannt sind, müssen wir uns begnügen, die Unterschiedsmassformel als eine doch approximativ triftige in Fällen zu verwenden, wo kein Grund vorliegt, dem angegebenen Umstande einen erheblichen Einfluss zuzuschreiben, wie z. B. bei Schätzung der empfundenen Unterschiede zwischen Sternhelligkeiten, und übrigens der Richtung des Einflusses nur im Allgemeinen Rechnung tragen, denn unstreitig kommen viele Fälle vor, wo der betreffende Einfluss grösser ist, als dass er mit Fug vernachlässigt werden könnte.

XXV. Anwendung der Unterschiedsmassformel auf die Schätzung der Sterngrössen.

Die nachfolgende Anwendung der Unterschiedsmassformel kann als Beispiel der allgemeineren Anwendbarkeit, welche dieser Formel überhaupt in einfachsten Fällen zukommt, dienen.

Der Kürze halber nennen wir hier Helligkeit das Mass der Lichtempfindung, Intensität das Mass des physischen Lichtreizes, der die Helligkeit bewirkt, und nehmen die Helligkeitsunterschiede stets als besonders aufgefasste, deren Mass durch die Unterschiedsmassformel bestimmt wird.

Es sei p die Intensität des Theiles vom Himmelsgrunde, auf dem ein Stern erscheint, ohne Stern, i die dazu tretende Intensität des Sternes, so dass $\beta = p + i$ die Intensität des Sternes plus des Grundes ist, v die Verhältnissconstante, ω die Unterschiedsconstante (vgl. Th. I. S. 244). Wir nennen i die eigene, $\beta = p + i$ die gesammte, $\frac{i}{p}$ die verhältnissmässige Intensität des Sternes.

Hienach wird die Unterschiedshelligkeit D des Sternes gegen den Grund, wodurch sich derselbe vom Grunde abhebt, bestimmt durch

$$D = k \log \frac{\beta}{\mathrm{v}p} = k \log \frac{p+i}{\mathrm{v}p} = k \left[\log\left(1 + \frac{i}{p}\right) - \log \mathrm{v}\right]$$
$$= k \left[\log\left(1 + \frac{i}{p}\right) - M\omega\right]$$

Die letzte Form ergiebt sich mit Rücksicht, dass v wenig von 1 abweicht, demnach für log v gesetzt werden kann $M\omega$; wo M der Modulus des logarithmischen Systems.

Die Intensität des Grundes p setzt sich aus zwei Theilen zusammen, einem als merklich constant anzusehenden Theile a, welcher durch die Intensität des Augenschwarz repräsentirt wird, und einem variabeln Theile z, welcher vom äusseren Lichte, insbesondere dem zerstreuten Lichte der Gestirne abhängt.

Durch Substitution von $a + z$ für p geht dann die Formel über in

$$D = k \log \frac{a + z + i}{\mathrm{v}\,(a + z)}$$

Diese Formel mit den daraus ableitbaren Formeln hat besonders insofern Interesse, als sie unter folgender Rücksicht auf die Grösse der Sterne bezogen werden kann.

Nach der gewöhnlichen Reihungsweise der Sterngrössen lässt man die Nummern derselben aufsteigen, während die Intensitäten absteigen, was jedoch die Auffassung der Beziehung zwischen Grösse und Intensität erschwert. Lassen wir demnach im Folgenden die Grössen mit den Intensitäten aufsteigen, und nehmen den Nullwerth der Grösse an, wo ein Stern sich ununterscheidbar im Grunde verliert, so fällt die Grösse des Sternes mit seiner Unterschiedshelligkeit D vom Grunde zusammen, und wir können die obige Formel unmittelbar als den allgemeinen Ausdruck für die functionelle Beziehung zwischen Sterngrössen und Intensitäten ansehen, wobei uns noch freisteht, die Einheiten der Sterngrössen und Intensitäten so zu wählen, dass sich die Formel möglichst vereinfacht, worauf unten einzugehen. So führt die vorige Formel zu folgenden Folgerungen.

1) Die Grösse des Sternes hängt nicht blos von der eigenen Intensität des Sternes ab, sondern ist wesentlich mit abhängig von der Intensität des Grundes $p = a + z$, und nimmt bei gegebener eigener Intensität um so mehr ab, je mehr die Intensität des Grundes wächst, wie denn die intensivsten Sterne am Tageshimmel verschwinden, d. h. keine merkliche Helligkeitsdifferenz vom Grunde zeigen. Insofern ist es zweckmässig, wahre und scheinbare Grösse zu unterscheiden; indem wir

unter wahrer Grösse die Helligkeitsdifferenz von irgend einem normal festgesetzten Grunde, unter scheinbarer Grösse die von irgend einem anderen Grunde verstehen, welche zur allgemeinen Vergleichbarkeit erst auf die Helligkeitsdifferenz vom wahren Grunde zurückgeführt werden muss.

Als Normalintensität des Grundes soll hier das möglicherweise erreichbare Minimum, d. i. die Intensität a des Augenschwarz betrachtet werden. Ein vollkommen nachtdunkler Himmel wird sich dem nähern, und namentlich durch Fernröhre gesehen, wo sich die zum Augenschwarz zutretende Intensität z des zerstreuten Himmelslichtes nach Massgabe der Vergrösserung schwächt, merklich damit zusammenfallen.

2) Wenn die eigene Intensität des Sternes so klein gegen die des Grundes ist, dass die höheren Potenzen von $\frac{i}{p}$ gegen die erste zu vernachlässigen, mithin $\log\left(1 + \frac{i}{p}\right)$ nach S. 5 $= M\frac{i}{p}$ gesetzt werden kann, so ist die Grösse des Sternes merklich

$$D = kM\left(\frac{i}{p} - \omega\right)$$

d. h. proportional dem Ueberschusse der verhältnissmässigen Intensität des Sterzes $\frac{i}{p}$ über die Unterschiedsconstante ω.

Ist i gross genug geworden, dass p dagegen zu vernachlässigen, so wird $D = k \log \frac{i}{vp}$, und ist endlich i gross genug, dass auch $\log vp$ gegen $\log i$ zu vernachlässigen, so ist $D = k \log i$.

Die beiden Formeln

$$D = kM\left(\frac{i}{p} - \omega\right)$$

und

$$D = k \log i$$

bestimmen die Gränzfälle der Abhängigkeit der Grösse des Sternes von p und v. An der oberen Gränze wird die Grösse unabhängig sowohl von der Intensität des Grundes als der relativen Unterschiedsempfindlichkeit, so dass Sterne von gleicher, nur hinreichend starker, eigener Intensität auf verschieden intensivem Grunde und bei verschiedenen Graden relativer Unterschiedsempfindlichkeit gleich gross erscheinen.

3) Bei der teleskopischen Betrachtung kommt Folgendes in Rücksicht. Die eigene Intensität i eines Fixsternes wird bei hinreichender Oeffnung des Oculars und, abgesehen von der Lichtverschluckung durch die Gläser, im Verhältnisse der Flächengrösse

des Objectivs zur Flächengrösse der Pupille vergrössert. Allgemein sei F das Verhältniss, in welchem sie durch das Fernrohr verstärkt ist. Von der Intensität des Himmelsgrundes $p = a + z$ bleibt der Theil a durch das Fernrohr unverändert, der Theil z nimmt nach Massgabe der Flächenvergrösserung G, die das Fernrohr gewährt, an Intensität ab, indem nach Massgabe, als ein Fleck des Himmels ein grösseres Bild im Auge giebt, das Licht dieses Fleckes mehr verdünnt wird. Hienach geht unter Anwendung des Fernrohres i in Fi und p in $a + \frac{z}{G}$ über, und wir erhalten, wenn D_f die durch das Fernrohr gesehene Grösse ist

$$D_f = k \left[\log \left(1 + \frac{GFi}{aG + z}\right) - \log \text{v}\right]$$

wofür wir bei nicht zu unbedeutender Vergrösserung und finsterem Himmel setzen können

$$D_f = k \log \frac{a + Fi}{\text{v}a}$$

sofern dann z gegen aG zu vernachlässigen ist.

Wird nun ein Stern von der eigenen Intensität i' mit dem Fernrohre und ein anderer mit der eigenen Intensität i ohne Fernrohr betrachtet, so erscheinen sie gleich gross, wenn

$$\frac{Fi'}{a} = \frac{i}{p} \text{ oder } \frac{i}{i'} = \frac{Fp}{a}$$

Bei sehr finsterem Himmel wird p nicht erheblich von a abweichen, wo dann $\frac{i}{i'} = F$ gesetzt werden kann, wogegen, wenn der Himmel ohne Fernrohr so dämmerig ist, dass er z. B. die doppelte Intensität des Augenschwarz hat, man das Verhältniss $\frac{i}{i'}$ nach dieser Gleichung blos halb so gross finden würde, als es wirklich ist.

Wenn die Helligkeitsverstärkung durch das Fernrohr so gross ist, dass a gegen Fi vernachlässigt werden kann, so erhalten wir die Formel

$$D_f = k \log \frac{Fi}{\text{v}a} = k \left(\log \frac{i}{\text{v}a} + \log F\right)$$

wonach die Verstärkung durch ein gegebenes Fernrohr allen Sternen, schwachen und starken, einen gleichen Grössenzuwachs $k \log F$ zufügt. Wäre umgekehrt die Verstärkung so schwach und i so klein, dass Fi gegen a verschwindet, so würde das Fernrohr nichts zur Verstärkung wirken, und wäre sie endlich so beschaffen, dass a und Fi ein in Betracht kommendes Verhältniss zu ein-

ander haben, so würde der Grössenzuwachs durch dasselbe Fernrohr variabel sein.

4) Nimmt man die einfache Differenz zweier Grössen D, D', welche auf demselben Grunde p stehen, so verschwindet v, womit man aber nur auf die in der Empfindung aufgehende Unterschiedshelligkeit derselben zurückkommt. Um den besonders aufgefassten oder empfundenen Unterschied derselben zu gewinnen, hat man nach directer Anwendung der Unterschiedsmassformel

$$D - D' = k \log \frac{\beta}{\mathrm{v}\beta'} = k \log \frac{p + i}{\mathrm{v}(p + i')}$$

worin jedoch v nicht denselben Werth haben dürfte, als wenn wir den Unterschied eines Sternes vom umgebenden Grunde in Betracht ziehen.

Diese Formel zeigt, dass die Grössendifferenz zweier Sterne nicht blos von dem Verhältnisse ihrer eigenen Intensitäten, sondern ihrer Gesammtintensitäten, mithin mit von der Intensität des Grundes p abhängt; wonach bei vollkommen nachtdunklem Himmel zwei Sterne weniger in der eigenen Intensität zu differiren brauchen, als bei dämmerigem, um noch denselben Grössenunterschied darzubieten. Die Verschiedenheit in dieser Hinsicht je nach Beschaffenheit des Grundes wird am stärksten bei den schwächsten, unmerklich bei sehr intensiven Sternen sein, so dass nicht blos die absolute Grösse der Intervalle zwischen den scheinbaren Grössen, sondern auch die Verhältnisse dieser Intervalle sich je nach der Intensität des Grundes ändern.

Der Ausdruck für den empfundenen Grössenunterschied zweier Sterne bei Anwendung des Fernrohres ist

$$D_f - D'_f = k \log \frac{a + Fi}{\mathrm{v}(a + Fi')}$$

woraus hervorgeht, dass der Grössenunterschied mit Fernrohr so lange mit abhängig ist von dem Verstärkungsfactor F, als a nicht gegen Fi und Fi' vernachlässigt werden kann. Ist aber der Verstärkungsfactor F hiezu gross genug, so hängt der Grössenunterschied blos noch von dem Verhältnisse $\frac{i}{\mathrm{v}i'}$ eben so wie bei starken Intensitäten ohne Fernrohr ab.

5) Der arithmetischen Reihe der Sterngrössen gehört eine geometrische der Gesammtintensitäten der Sterne zu, sofern dem gleichen Unterschiede $D - D'$ zwischen den auf einanderfolgenden Gliedern der Grössenreihe ein gleiches Verhältniss $\frac{\beta}{\beta'}$ der zugehö-

rigen Intensitätenreihe entspricht. Sei der Exponent der Intensitätenreihe, welche der arithmetischen Sterngrössenreihe 0, 1, 2, 3 .... zugehört, E, so wird man, um von der Grösse $D = 0$ zur Grösse 1 überzugehen, die Intensität $\text{v}p$, bei welcher die Nullgrösse angenommen wird, mit E zu multipliciren haben, um die dazu gehörige Gesammtintensität β zu finden. Substituirt man nun in den allgemeinen Ausdruck

$$D = k \log \frac{\beta}{\text{v}\beta}$$

1 für D und $E\text{v}p$ für β, so erhält man

$$1 = k \log E$$

$$k = \frac{1}{\log E}$$

woraus sich ergiebt, dass man für k substituiren kann $\frac{1}{\log E}$ und mithin schreiben kann

$$D = \frac{1}{\log E} \log \frac{\beta}{\text{v}p}$$

6) Die Reihe der eigenen Intensitäten i, welche einer arithmetischen Grössenreihe D zugehört, ist keine streng geometrische, sondern es entsprechen sich:

D	$= 0,$	$1,$	$2,$	$3,$	$4 \ldots.$	$\ldots n$
$\beta = i + p$	$= \text{v}p$	$E\text{v}p$	$E\text{v}^2p$	$E\text{v}^3p$	$E\text{v}^4p \ldots.$	$E\text{v}^np$
i	$= (\text{v}-1)p$	$(E\text{v}-1)p$	$(E\text{v}^2-1)p$	$(E\text{v}^3-1)p$	$(E\text{v}^4-1)p \ldots.$	$(E\text{v}^n-1)p$

Jedoch fällt von so grossen Intensitäten an, dass 1 gegen $E\text{v}^n$ vernachlässigt werden kann, die Reihe der eigenen und Gesammtintensitäten merklich zusammen, und es kann der Exponent E der letzten zugleich für den der ersten gelten.

7) Die Einheit der Grösse kann entweder als Fundamentaleinheit so bestimmt werden, dass $k = 1$ wird, oder so, dass dem seither angenommenen Grössenintervalle entsprochen wird, mithin auch der Exponent der zugehörigen Reihe Gesammtintensitäten dadurch wiedergegeben wird, also blos der Ausgang und die Richtung der bisherigen Grössenfolge, nicht aber die Abstände der Grössen von einander und Verhältnisse der zugehörigen Intensitäten sich ändern.

Es ist nun äusserst merkwürdig, dass unter Anwendung natürlicher Logarithmen beide Bedingungen sich in Verbindung so nahe, dass man der Abweichung von wirklicher Genauigkeit nicht sicher sein kann, erfüllen.

In der That, nach der ersten Bedingung muss in dem Ausdrucke für die Grösse

$$D = k \log \frac{p+i}{vp}$$

der Werth $\frac{p+i}{vp}$ bei der Grösseneinheit der Grundzahl der angewandten Logarithmen gleich sein (vgl. S. 19), und diese Grundzahl zugleich der allgemeine Exponent der Reihe der Gesammtintensitäten sein, welche der Grössenreihe mit der Differenz 1 zugehört, da sie der Exponent des ersten Verhältnisses dieser Intensitätenreihe bei $D = 0$ und $D = 1$ ist. Nun ist die Grundzahl der natürlichen Logarithmen = 2,7184..., und nach der Th. I. S. 161 gegebenen Zusammenstellung hat der Exponent der Intensitätenreihe, welche den heute angenommenen Grössen zugehört, beinahe diesen Werth. Die Abweichungen der bisherigen Bestimmungen davon können an Puncten hängen, welche ich in einer Abhandlung in den Berichten der sächs. Soc. (1859. S. 58 ff.) näher besprochen habe.

Um die Formel hienach auch noch durch angemessene Wahl der Intensitäteneinheit möglichst zu vereinfachen, hat man als Intensitäteneinheit vp zu nehmen, welche, da v wenig von der Einheit abweicht, mit der Intensität des Himmelsgrundes p, und wenn man diese auf vollkommenes Nachtdunkel oder normales Augenschwarz reducirt denkt, mit a nahehin übereinkommt. Die somit möglichst vereinfachte Formel ist

$$D = \log \beta = \log (p + i)$$

wonach die Zahl, welche die Grösse eines Sternes misst, dem Logarithmus der gesammten Intensität des Sternes gleich ist.

Diese Formel entspricht der natürlichen Grössenerscheinung, aber erscheint insofern unbequem, als wir nicht die Gesammtintensität $p + i$, sondern die eigene Intensität i messen und mithin kennen. Berücksichtigt man aber, dass bei den hellen Sternenclassen, etwa den 3 höchsten, p gegen i merklich vernachlässigt werden kann, und nicht nur die unsichtbaren, sondern auch schwächer sichtbaren Grössenclassen teleskopisch betrachtet zu werden pflegen, wobei durch hinreichende Verstärkung der Sternintensität die Intensität des Grundes ebenfalls merklich zum Verschwinden gegen die eigene Intensität des Sternes gebracht werden kann, so wird man, wenn man principiell die Grössenbestimmung überall bei hinreichender natürlicher oder teleskopisch verstärkter Intensität vornimmt, dass die Intensität des Grundes

nicht mehr merklich in Betracht kommt, die Formel $D = \log i$ mit $D = \log (p + i)$ merklich gleichbedeutend halten und zur Verknüpfung der Grössen und Intensitäten allgemein verwenden können, nachdem man nur zuvor die teleskopisch bestimmten Intensitäten und Grössen auf die nicht teleskopisch bestimmten reducirt hat, wozu der obige Ausdruck $D_f = k \log \frac{a + Fi}{va}$ Anhalt gewährt. Setzen wir nämlich die Intensitätsverstärkung durch das Fernrohr stark genug, dass a gegen Fi und $\log va$ gegen $\log Fi$ zu vernachlässigen ist, und $k = 1$, so ist

$$D_f = \log Fi = \log i + \log F$$

also die teleskopische Intensität Fi im Verhältnisse von F zu reduciren, um sie auf die wahre i herabzubringen, von der teleskopisch geschätzten Grösse D_f aber $\log F$ abzuziehen, um sie auf die zum wahren i zugehörige zu bringen.

Auch hindert dann nichts, statt der im Verhältnisse der Verhältnissschwelle gesteigerten Intensität des Grundes vp die reine Intensität des schwarzen Himmelsgrundes oder normalen Augenschwarzes a als Einheit anzunehmen, bei welcher die Nullgrösse statt hat. Da nun nach den Erörterungen S. 76 die Intensität des Augenschwarz nicht unwahrscheinlich das e-fache des Schwellenwerthes ist, und e zugleich der Exponent der Intensitätenreihe, so würde der Nullpunct der Sterngrössen gerade um eine Grösse höher als der absolute Nullpunct der Lichtempfindung liegen, und könnte selbst, wenn man wollte, mit diesem zur Coincidenz gebracht werden.

Allerdings werden bei dem hier vorgeschlagenen Systeme die niederen Classen der noch sichtbaren Sterne dann ohne Fernrohr für das freie Auge nicht mehr um gleiche Helligkeitsunterschiede differiren, wohl aber mit Fernrohr, was an sich praktischer erscheint, da sie für astronomische Zwecke gewöhnlich mit Fernrohr beobachtet werden.

Unstreitig hat man die Bedingung, die Grössenabstände so zu schätzen, dass nur die eigenen Intensitäten der Sterne massgebend werden, was überall fodert, dass die Intensität des Grundes gegen die natürliche oder künstlich verstärkte eigene Intensität des Sternes verschwindend klein werde, bei den lichtschwächeren sichtbaren, und namentlich bei den kleinsten teleskopischen Sternen bisher nur unvollständig erfüllt, und ohne das Princip

der Erfüllung klar vor Augen zu haben; auch liegt vielleicht für die Astronomie kein hinreichendes Interesse vor, auf mühselig genaue Bestimmungen in dieser Beziehung einzugehen. Indess erklären sich daraus wohl auch abgesehen von den Schwierigkeiten einer vergleichbaren Schätzung durch das Auge die Schwankungen in der Grössenbestimmung der kleinen Sterne, die man bei Astronomen findet; und werden die Exponenten der Intensitätenreihe, welche aus den verschiedenen Untersuchungen fliessen, auf eine gewisse Weise dadurch influirt und in der Genauigkeit benachtheiligt sein. Ohne neue Untersuchungen mit Rücksicht auf vorstehende Principien scheint mir dieser Gegenstand nicht ins Reine und Klare zu bringen, eine solche Untersuchung aber den Astronomen zu überlassen, falls sie Interesse genug für sie haben sollte.

XXVI. Die höheren Unterschiedsmassformeln.

Die einfache Unterschiedsmassformel liess eine Verallgemeinerung in doppeltem Sinne zu, einmal sofern wir, statt auf einfache Unterschiede, auf Unterschiede zwischen Unterschieden Rücksicht nahmen, zweitens, sofern wir, statt die Schwellenwerthe für die verschieden angebrachten Reize als gleich anzunehmen, eine mögliche Verschiedenheit derselben, bei welcher ein Grössenwechsel der Reize einen Einfluss auf das Resultat gewinnt, berücksichtigten. Die Unterschiedsmassformel lässt eine entsprechende Verallgemeinerung in doppeltem Sinne zu, indem sie sich ebenfalls einmal von einfachen Unterschieden auf Unterschiede zwischen Unterschieden, zweitens von dem Falle, wo der Grössenwechsel der Reize das Resultat nicht ändert, auf den Fall, wo er dasselbe ändert, ausdehnen lässt. Die Verallgemeinerung im ersten Sinne wird in diesem Kapitel, die Verallgemeinerung im zweiten Sinne im folgenden Kapitel behandelt werden.

Wenn eine bewusste Empfindung γ nur nach Massgabe stattfinden kann, als der zugehörige Reiz β (oder die von ihm repräsentirte innere psychophysische Thätigkeit) eine gewisse endliche Grösse b übersteigt, und ein empfundener Unterschied $\gamma - \gamma' = u_1$ nur nach Massgabe als das zugehörige Reizverhältniss $\frac{\beta}{\beta'} = \varphi_1$ eine gewisse endliche Grösse v_1 übersteigt, wobei wir die Buchstaben u, φ, v mit einem Index wegen der Beziehung zum Folgenden be-

zeichnen, so ist vorauszusetzen und bestätigt sich durch Erfahrung, dass auch ein Unterschied zwischen zwei Empfindungsunterschieden $u - u' = u_2$ nur nach Massgabe empfunden, als besonderer in das Bewusstsein treten kann, als das zugehörige höhere Reizverhältniss $\frac{\varphi_1}{\varphi'_1} = \varphi_2$, d. i. Verhältniss zwischen zwei Verhältnissen $\frac{\beta}{\beta'}$, $\frac{\beta''}{\beta'''}$ eine gewisse endliche Grösse v_2 übersteigt, u. s. f., so dass wir, unter beliebig weiter Fortsetzung dieser Steigerung haben

$$u_1 = k \log \frac{\varphi_1}{v_1}$$

$$u_2 = k \log \frac{\varphi_2}{v_2}$$

$$u_3 = k \log \frac{\varphi_3}{v_3} \text{ u. s. w.}$$

Hievon entspricht die Formel für u_1 der einfachen Unterschiedsmassformel; die anderen, welche wir höhere Unterschiedsmassformeln nennen können, lassen sich in analoger Weise als diese ableiten. Beschränken wir uns hier, nur die empfundenen Unterschiede zweiter Ordnung u_2 des Näheren in Betracht zu ziehen.

Ihre Inbetrachtnahme ist nicht müssig, weil sie wirklich in Betracht kommen. Die Erkenntniss der Unreinheit eines Tonintervalles ist vielleicht der einfachste und zur einfachen Erläuterung geeignetste Fall eines empfundenen Unterschiedes u_2. In der That ist die empfundene Unreinheit eines Tonintervalles nichts anderes als der empfundene Unterschied zwischen zwei Intervallen, dem reinen und dem unreinen; jedes dieser Intervalle aber als empfundenes der empfundene Unterschied zwischen zwei absoluten Tonhöhen. Soll nun die Unreinheit wirklich empfunden werden, so muss der Unterschied zwischen dem reinen und unreinen Intervalle eine gewisse Grösse übersteigen. Ausserdem ist selbstverständlich, dass, um einen Unterschied zwischen Unterschieden zu empfinden, wir diese Unterschiede selbst empfinden müssen; dazu aber gehört, dass sie ihrerseits eine gewisse Grösse übersteigen müssen; aber endlich auch die Höhe jedes Tones für sich muss eine gewisse Grösse übersteigen, soll er als Ton empfunden werden, und mithin die Empfindung eines Unterschiedes dafür möglich sein, so dass also das Zustandekommen eines Bewusstseinsphäno-

mens höherer Ordnung mit dem Uebersteigen der höheren Schwelle das Uebersteigen jeder niederen voraussetzt.

Nicht blos die Empfindung der Unreinheit eines Tonintervalles, auch der musikalische Eindruck, den die Folge der reinen Intervalle in der Melodie und noch mehr ihrer Complexe in der Harmonie macht, ist Sache empfundener Unterschiede höherer Ordnung, und zwar spielen hiebei Unterschiede viel höherer als der zweiten Ordnung eine Rolle mit.

Nicht minder hat man bezüglich der Stärke der Empfindung empfundenen Unterschieden höherer Ordnung eine Bedeutung beizulegen. Der Eindruck des *crescendo* und *descrescendo*, des vervielfältigten Wechsels zwischen dem *piano* und *forte* der Musik beruht hierauf und unterstützt den Eindruck der Melodie und Harmonie, wenn schon er für sich aus unbekanntem Grunde keines entsprechenden ästhetischen Eindruckes, als Melodie und Harmonie für sich, fähig ist. Das Gebiet der Lichtempfindung gewährt uns andere Beispiele. Wenn wir drei Sterne β, β', β'' von verschiedener Helligkeit oder sog. Grösse haben, so kann man fragen, ob der Unterschied z. B. zwischen β und β' grösser sei, als der Unterschied zwischen β' und β'', oder, bei 4 Sternen, ob der Unterschied zwischen β und β' grösser sei, als zwischen β'' und β'''. Um sich zu entscheiden, wird der Unterschied zwischen den Unterschieden, die man vergleicht, wieder eine gewisse Grösse übersteigen müssen, die sogar bei Sternintensitäten, wir wissen wieder nicht warum, verhältnissmässig viel grösser sein muss, als bei Tonhöhen; doch fodert die astronomische Schätzung von Sterngrössendifferenzen solche Vergleiche.

Ziehen wir nun die, für die empfundenen Unterschiede zweiter Ordnung gültige, Unterschiedsmassformel zweiter Ordnung

$$u_2 = k \log \frac{\varphi_2}{\nu_2}$$

näher in Betracht, indem wir dabei den allgemeinsten Fall zu Grunde legen, dass wir 4 Reize, Tonhöhen, Sterngrössen oder was es sei, haben, β, β', β'', β'''; dass zwischen den beiden Unterschieden von β zu β' und von β'' zu β''' der Unterschied aufgefasst werden soll, dass $\beta > \beta'$ und $\beta'' > \beta'''$ sei, so werden wir uns das Zustandekommen dieser Formel des Näheren so erläutern können.

Der empfundene Unterschied erster Ordnung zwischen β und β' sei

$$u_1 = k \log \frac{\varphi_1}{v_1}$$

Der empfundene Unterschied gleicher Ordnung zwischen β'' und β''' werde in Betracht der gleichen Ordnung auch durch ein Strichelchen unten bezeichnet, in Betracht der anderen Reize aber, zwischen denen er besteht, durch ein Strichelchen oben vom vorigen unterschieden, und sei mithin

$$u'_1 = k \log \frac{\varphi'_1}{v'_1}$$

So wird zuvörderst der in der Empfindung aufgehende Unterschied zwischen beiden empfundenen Unterschieden die einfache Differenz beider sein, d. i.

$$k \left(\log \frac{\varphi_1}{v_1} - \log \frac{\varphi'_1}{v'_1}\right) = k \log \frac{\varphi_1 v'_1}{\varphi'_1 v_1}$$

In der That kann ein Unterschied zwischen empfundenen Unterschieden eben so gut empfunden als nicht empfunden sein, letzteres z. B. wenn die beiden empfundenen Unterschiede sich in zwei verschiedenen Menschen finden, oder zwischen ihnen in demselben Menschen eine zu lange Zwischenzeit besteht, oder sie zu wenig differiren. Soll nun der Empfindungsunterschied

$$k \log \frac{\varphi_1 v'_1}{\varphi'_1 v_1}$$

zum empfundenen Unterschiede werden, so muss der Werth des Reizverhältnisses zweiter Ordnung eine gewisse Grösse erreichen, die wir V nennen wollen, bei welcher der Nullwerth des empfundenen Unterschiedes zweiter Ordnung eintritt, was für den Ausdruck des empfundenen Unterschiedes u_2 giebt

$$u_2 = k \log \left(\frac{\varphi_1}{\varphi'_1} \frac{v'_1}{v_1} \cdot \frac{1}{V}\right)$$

Indem wir aber für $\frac{\varphi_1}{\varphi'_1}$ den einzigen Buchstaben φ_2 und für $\frac{v'_1}{v_1} \cdot \frac{1}{V}$ setzen $\frac{1}{v_2}$, erhalten wir

$$u_2 = k \log \frac{\varphi_2}{v_2} = k \log \left(\frac{\varphi_1}{\varphi'_1} \cdot \frac{1}{v_2}\right)$$

Diese Formel führt zu einer Verallgemeinerung des Weber'schen Gesetzes in einer seiner Ausdrucksweisen. Nach dem Weber'schen Gesetze wird ein Unterschied zwischen zwei Reizen als gleich gross empfunden, wenn das Verhältniss zwischen den Reizen, die den Unterschied geben, gleich gross ist. Nach voriger Formel wird ein Unterschied zwischen zwei Reizunterschieden als gleich gross empfunden, wenn das Verhältniss zwischen den zu-

gehörigen Reizverhältnissen gleich gross ist. Denn φ_1 und φ_1', welche den Quotienten φ_2 bilden, stellen ja die Reizverhältnisse $\frac{\beta}{\beta'}$, $\frac{\beta''}{\beta'''}$ dar. Man darf aber nicht übersehen, dass die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes wie dieser Verallgemeinerung an eine Bedingung gebunden ist. Das Weber'sche Gesetz setzt eine Constanz der Schwelle v_1, wie die jetzige Verallgemeinerung desselben eine Constanz der Schwelle v_2 voraus.

Das Gebiet der Musik bietet uns im Zusammenhange einen bemerkenswerthen Beleg eben so für die Gültigkeit dieser Verallgemeinerung des Weber'schen Gesetzes, als für eine, auf der Variation von v_2 beruhende, Abweichung von der Gültigkeit dar, welche ihre gemeinsame Repräsentation in unserer Unterschiedsmassformel zweiter Ordnung finden.

In der That, die Unreinheit eines Tonintervalles wird in verschiedenen Octaven gleich leicht erkannt; diess entspricht unserer Verallgemeinerung; sofern zur Auffassung der Unreinheit gehört, dass der Unterschied zweier Tonintervalle, wozu zwei verschiedene Schwingungsverhältnisse gehören, erkannt werde. Sei das reine Schwingungsverhältniss n, das unreine ν, so wird die Unreinheit erkannt werden, wenn $\frac{\nu}{n}$ den Werth v_2 erlangt; aber eben so auch, wenn $\frac{2\nu}{2n}$ den Werth v_2 erlangt; es kommt also auf die absolute Grösse von 2ν und $2n$ nicht dabei an, indem v_2 davon nicht abhängt.

Hingegen wird die Abweichung einer Quinte von der Reinheit verhältnissmässig leichter als die irgend eines anderen Intervalles derselben Octave erkannt, und bestehen überhaupt in dieser Hinsicht Unterschiede zwischen den verschiedenen Intervallen (vgl. Th. I. S. 261). Diess entspricht einer Abweichung von der Verallgemeinerung des Weber'schen Gesetzes und beweist, dass, indess die Constanz von v_2 für die gleichen Intervalle verschiedener Octaven stattfindet, diese Constanz nicht für die verschiedenen Intervalle derselben Octave besteht, wie denn hiezu keine aprioristische Nothwendigkeit vorliegt.

Substituiren wir in unsere Unterschiedsmassformel zweiter Ordnung für φ_1 und φ'_1 ihre Werthe, so haben wir

$$u_2 = k \log \left(\frac{\beta\beta'''}{\beta'\beta''} \cdot \frac{1}{v_2}\right)$$

und setzen wir hierin $\beta' = \beta''$, welches dem Falle entspricht, dass wir die 4 Reize auf drei in der Ordnung β, β', β''' reduciren, und den Unterschied von β zu β' mit dem von β' zu β''' vergleichen, so haben wir, indem wir statt β''' nun β'' einführen:

$$u_2 = k \log \left(\frac{\beta\beta''}{\beta'^2} \, \frac{1}{v_2} \right)$$

welches zeigt, dass der empfundene Unterschied zwischen zwei solchen Unterschieden auf die Schwelle tritt, wenn der Quotient aus dem Quadrate des mittleren Reizes in das Product der äusseren Reize einen gewissen Werth v_2 erlangt.

Man kann aus unseren höheren Formeln folgern, was die Erfahrung bestätigt, dass das Bewusstsein eine um so grössere Intensität erlangen muss, je höherer Ordnung die Unterschiede sind, die von demselben gefasst werden sollen, so dass z. B. ein Unterschied zweiter Ordnung nur mit einer Intensität ins Bewusstsein treten kann, welche diejenige erreicht oder übersteigt, die einer einfachen Empfindung beim Werthe $\beta = b v_1 v_2$ zugehört. Denn man darf nicht meinen, dass der empfundene Unterschied u_2, indem er beim Werthe $\varphi_2 = v_2$ auf die Schwelle tritt, stets mit einem Nullwerthe des Bewusstseins überhaupt auf die Schwelle tritt, sondern nur mit einem Nullwerthe des Bewusstseins zweiter Ordnung auf die Schwelle zweiter Ordnung, wogegen das Bewusstsein der Unterschiede u_1, u_1', wozwischen er besteht, gleichviel ob der höhere Unterschied dazwischen empfunden wird oder nicht, die Schwelle bei v_1 schon überschritten haben kann. Dieses Ueberschreiten oder mindestens Erreichen, so wie das der Reizschwelle b ist, wie schon oben erörtert, in jedem Falle die Voraussetzung des Bewusstseins der höheren Ordnung u_2. Es lässt sich aber wie folgt zeigen, dass in der That hiezu ein entsprechender Bewusstseinsgrad gehört, als wenn ein einfacher Reiz oder die entsprechende psychophysische Thätigkeit den Werth $b v_1 v_2$ erreicht.

Drücken wir die Formel für u_2 wie folgt aus

$$u_2 = k \log \left[\frac{\left(\frac{\beta}{\beta'}\right)}{\frac{\beta''}{\beta'''}} \, \frac{1}{v_2} \right]$$

Damit u_2 bewusst empfunden, mithin die Schwelle zweiter Stufe überstiegen werde, muss die Grösse unter dem Logarithmuszeichen grösser als 1 sein, mithin

$$\frac{\beta}{\beta} > \frac{\beta''}{\beta'''} \mathrm{v}_2$$

Es ist aber auch nöthig, dass die Unterschiede erster Stufe beide bewusst empfunden werden, mithin nicht nur $\frac{\beta}{\beta'}$, sondern auch $\frac{\beta''}{\beta'''} > \mathrm{v}_1$ sei, wenn mit v_1 gemeinsam die zugehörige Schwelle bezeichnet wird, was für die vorige Ungleichung giebt

$$\frac{\beta}{\beta'} > \mathrm{v}_1\mathrm{v}_2$$

und mithin

$$\beta > \mathrm{v}_1\mathrm{v}_2\beta'$$

Endlich muss aber auch jeder der Reize β, β' die Schwelle b überstiegen haben, was für die vorige Ungleichung giebt

$$\beta > b\mathrm{v}_1\mathrm{v}_2$$

Eben so wie die Unterschiedsmassformel erster Stufe eine Massformel für das Vollbewusstsein einer einfachen Empfindung erster Stufe als besonderen Fall einschliesst, können wir auch aus der Unterschiedsmassformel zweiter Stufe eine Massformel für ein einfaches Vollbewusstsein zweiter Stufe ableiten; und wie das erste dadurch charakterisirt ist, dass wir die Empfindung nicht blos haben, sondern uns auch bewusst werden können, dass wir sie gehabt haben, wird das zweite dadurch charakterisirt sein, dass wir uns bewusst werden können, wir haben dieses Bewusstsein gehabt. Wir erhalten diese Formel, indem wir zuvörderst den empfundenen Unterschied u_2 als Unterschied zwischen einem bewussten Unterschiede u_1 und einem Nullunterschiede betrachten, der beim Werthe des Reizverhältnisses $\frac{\beta''}{\beta'''} = \mathrm{v}_1'$ eintritt; was giebt

$$u_1 = k \log \left(\frac{\beta}{\beta'} \frac{1}{\mathrm{v}'_1\mathrm{v}_2}\right)$$

indem wir zweitens den Unterschied u_1 als Unterschied betrachten zwischen einer bewussten Empfindung und einer Nullempfindung, welche dem Reize $\beta' = b'$ zugehört, wodurch wir erhalten

$$\gamma = k \log \frac{\beta}{b'\mathrm{v}'_1\mathrm{v}_2}$$

wonach man in Uebereinstimmung mit dem, was wir vorhin fanden, sieht, dass eine einfache Empfindung, um auf gleiche Stufe, als ein empfundener Unterschied zu steigen, das Product aller Schwellen bis zu dieser Stufe inclus. übersteigen muss.

XXVII. Die Lagenformeln. Anwendung derselben auf die Beurtheilung der Verhältnisse constanter Fehler.

Sofern es im Folgenden zwei Reize in verschiedener zeitlicher oder räumlicher Lage gegen einander zu bezeichnen gilt, wird der in einer Weise angebrachte Reiz mit β, der in anderer Weise angebrachte mit β', ihr Grössenverhältniss mit φ oder φ' in solcher Weise bezeichnet werden, dass der grössere Reiz immer in dem Zähler verwandt wird, wonach die Buchstaben β, β' ihre Lage im Zähler und Nenner eben so zu vertauschen haben, wenn die zwei gegebenen Reize bei gleichbleibender Grösse die Lage vertauschen, als wenn sie bei gleichbleibender Lage die Grösse vertauschen, was auf dasselbe herauskommt, wenn beide Reize sich in Nichts als der Grösse unterscheiden, wie hier vorausgesetzt wird.

Das Verhältniss $\frac{\beta}{\beta'}$, worin also nach Vorigem $\beta > \beta'$ ist, soll insbesondere mit φ, das Verhältniss $\frac{\beta'}{\beta}$, wo $\beta' > \beta$ ist, mit φ' bezeichnet und für beide gemeinsam das Zeichen Φ gebraucht werden.

Insofern ich im Folgenden mehrfach auf meine früher besprochenen Gewichtsversuche werde Bezug zu nehmen haben, ist der kleinere Reiz durch das einfache Hauptgewicht P, der grössere durch das Hauptgewicht plus dem Zusatzgewichte, also durch $P + D$ vertreten, wonach das Reizverhältniss $\varphi = \frac{\beta}{\beta'}$ oder $\varphi' = \frac{\beta'}{\beta}$ durch $\frac{P+D}{P}$ gegeben ist, der Art, dass D einesfalls die entgegengesetzte Lage als andernfalls hat. Sofern aber die Gewichtsversuche folgends blos als Beispiele zur Erläuterung allgemeiner Verhältnisse dienen, können auch unter P und $P + D$ Reize jeder anderen Art als Gewichte verstanden werden.

Insofern die zwei Reize, deren Unterschied es aufzufassen gilt, nach ihrer zeitlichen oder räumlichen Anbringungsweise verschieden sind, findet sich auch im Allgemeinen, dass der Unterschied zwischen ihnen bei gleichbleibendem Verhältnisse Φ doch als verschieden gross empfunden wird, je nachdem sie bei gleichbleibender Lage die Grösse, oder bei gleichbleibender Grösse die Lage wechseln oder der Ueberschuss des einen über den anderen Reiz auf die eine oder andere Seite fällt, was nach Obigem nur Ausdrücke für dieselbe Sache sind.

So macht es bei den Gewichtsversuchen, von denen im er-

sten Theile die Rede gewesen, einen Unterschied in der Grösse des empfundenen Unterschiedes, ob die Gewichtszulage bei gleichem Hauptgewichte *P* im erst- oder zweitaufgehobenen Gefässe, im links- oder rechtsstehenden Gefässe liegt. Trotz dem, dass sich das Reizverhältniss Φ hiebei nicht ändert, fällt der empfundene Unterschied einesfalls von anderem Werthe aus, als anderenfalls, oder, was dasselbe sagt, scheint uns das eine Gewicht das andere einesfalls mehr oder weniger zu überwiegen, als anderenfalls.

Selbst ohne Dasein eines Mehrgewichtes *D* macht sich dieser Einfluss geltend; denn, wenn ich zwei gleiche Gewichte ohne *D* vergleichungsweise aufhebe, erscheint mir doch im Mittel so vieler Versuche, dass sich die unregelmässigen Zufälligkeiten ausgleichen, das eine Gewicht constant schwerer oder leichter als das andere, je nach der Raum- oder Zeitlage der Aufhebung. Ich bin aber im Stande, diesen Einfluss dadurch zu compensiren, dass ich das Gewicht, welches leichter erscheint, mit einem hinreichenden Mehrgewichte versehe, und hiedurch zugleich im Stande, den Einfluss der Lage seiner Grösse und Richtung nach messend zu bestimmen, indem ich ihn dem zur Compensation nöthigen *D* der Grösse nach äquivalent, der Lage nach entgegengesetzt setze. Mag dann auch ein anderes *D* und in anderer Lage angebracht werden, so wird man es doch immer so ansehen können, als wenn der Einfluss der Zeit- und Raumlage seinerseits durch jenes ideale, aber einem wirklichen gleich wirkende Mehrgewicht vertreten bliebe, wodurch es als gemessen angesehen werden kann, welches nun aber als additiv oder subtractiv zur Wirkung des wirklichen Mehrgewichtes *D* hinzutritt, je nachdem es gleiche oder entgegengesetzte Lage hat als *D*, und eben hiemit den verschiedenen Werth des empfundenen Unterschiedes je nach der Lage von *D* begründet.

Die Grösse, um welche solchergestalt durch den Einfluss der Zeit- oder Raumlage oder den vereinigten Einfluss derselben, abgesehen von *D*, das Gewicht *P* oder überhaupt irgend ein Reiz vergrössert oder vermindert erscheint, dieser ideale, doch einem wirklichen gleich zu achtende, positive oder negative Zuwachs dazu, bildet das, was man den constanten Fehler nennt, sofern er sich in der vergleichungsweisen Schätzung der Reize wirklich als ein Fehler geltend macht und bei gleichbleibendem Ein-

flusse der Zeit- und Raumlage der Reize constant begangen wird, oder, insofern sich dieser Einfluss durch unregelmässige Zufälligkeiten abändert, im Mittel einer Mehrzahl von Versuchen herausstellt. Wie die constanten Fehler und hiemit das Mass des Einflusses der Zeit- und Raumlage genau zu bestimmen sind, ist bei Darstellung der Massmethoden der Unterschiedsempfindlichkeit angegeben worden.

Man ersieht leicht aus Vorigem, dass der constante Fehler weder seinem Dasein, noch seiner Grösse und Richtung nach von der Grösse und Lage von *D* abhängt, vielmehr unabhängig davon besteht, und nur insofern eine Verschiedenheit des empfundenen Unterschiedes je nach der Lage von *D* mitführt, als er in einer Lage desselben mit ihm in gleichem, in der entgegengesetzten im entgegengesetzten Sinne wirkt, also erstenfalls den von *D* abhängigen Unterschied, welcher in die Empfindung fällt, vergrössert, zweitenfalls verkleinert.

Es kann selbst der Fall eintreten und tritt oft genug bei Versuchen über die Unterschiedsempfindlichkeit ein, dass vermöge des Einflusses der Zeit- und Raumlage der kleinere Reiz als der grössere erscheint und der empfundene Unterschied vielmehr zu- als abnimmt, wenn *D* verkleinert wird, und hiemit beide Reize sich der Gleichheit nähern, was ich einen empfundenen Unterschied in verkehrtem Sinne nennen werde. Wie leicht begreiflich, tritt ein solcher Fall nothwendig dann ein, wenn der constante Fehler als positiver Zuwachs zum kleinern Reize hinzutritt und das *D* des grössern Reizes so weit überwiegt, dass der eben merkliche Unterschied überschritten wird.

So ist in meinen Gewichtsversuchen bei hinreichend schwerem Hauptgewichte das erstaufgehobene, also in Betreff der Zeitlage vorangehende, Gewicht, abgesehen von Zufälligkeiten, stets als das leichtere erschienen, wenn schon das Mehrgewicht *D* bei demselben war, so lange dieses Mehrgewicht nicht über eine gewisse Gränze stieg. Vergrössert man freilich das Mehrgewicht hinlänglich, so wird der von der Lage abhängige constante Fehler dadurch überwogen, und es tritt statt des verkehrten Sinnes der richtige Sinn des empfundenen Unterschiedes ein. So lange aber der verkehrte Sinn besteht, besteht auch der Umstand, dass sich der empfundene Unterschied vielmehr vergrössert als verkleinert, wenn sich die Reize der Gleichheit mehr nähern.

Aus der Bedingung, dass der constante Fehler als positiver Zuwachs des kleineren Reizes das D des grösseren Reizes um mehr als den eben merklichen Unterschied überschreiten muss, damit der Unterschied in verkehrtem Sinne empfunden werde, folgt übrigens, dass nicht nothwendig ein verkehrt empfundener Unterschied entsteht, wenn ein positiver constanter Fehler am kleineren Reize das D des grösseren Reizes übersteigt, weil eben nicht blos D, sondern auch der eben merkliche Unterschied dadurch noch überschritten werden muss, widrigenfalls die Empfindung des Unterschiedes, anstatt sich für das Bewusstsein zu verkehren, unbewusst bleibt.

Der Grund, dass je nach der verschiedenen Lage des Reizüberschusses der empfundene Unterschied grösser oder kleiner, oder gar in verkehrtem Sinne erscheint, kann ein doppelter sein. Indem die beiden Reize β, β' von verschiedenen Theilen eines empfindenden Organes aufgefasst werden oder als successiv einwirkende in verschiedene Zeiten fallen, können dieselben mit verschiedener absoluter Empfindlichkeit aufgefasst werden, und ihnen demgemäss verschiedene Schwellenwerthe b, b' zukommen. Nun haben wir aber früher (S. 95) gesehen, dass der bei Verschiedenheit von b, b' durch die Unterschiedsschwellenformel bestimmte wirkliche Unterschied der Empfindungen bei gleichem Φ grösser oder kleiner ist, je nachdem der grössere oder kleinere Reiz mit grösserer Empfindlichkeit (welcher ein kleinerer Schwellenwerth entspricht) aufgefasst wird, wonach er unter übrigens gleichen Umständen auch hienach stärker oder schwächer in die Empfindung fallen wird. Abgesehen davon aber könnte auch z. B. ein früherer Reiz, ungeachtet in der Gegenwart mit gleicher Empfindlichkeit aufgefasst, als der jetzige, doch beim Vergleiche mit dem jetzigen durch die Erinnerung vergrössert oder verkleinert in den empfundenen Unterschied eintreten, wo dann erstenfalls der empfundene Unterschied kleiner oder grösser ausfallen würde, je nachdem der frühere Reiz der kleinere oder grössere war, letzterenfalls umgekehrt. Nicht minder könnte möglicherweise die Relation in der räumlichen Lage des grösseren und kleineren Reizes, abgesehen von der verschiedenen Empfindlichkeit, womit beide aufgefasst werden, für die Grösse des empfundenen Unterschiedes mitbestimmend sein.

Der Kürze halber und in Ermangelung passenderer Bezeich-

nungen soll der Grund, dass φ bei gleicher Grösse anders als φ' empfunden wird, sofern er im ersten Sinne auf einer Verschiedenheit der absoluten Empfindlichkeiten für β, β' beruht, der absolute genannt werden, sofern er aber im zweiten Sinne auf der zeitlichen oder räumlichen Relation von β, β', abgesehen von dem Verhältnisse von b, b' beruht, der relative. Das Vorhandensein und die Wirksamkeit des absoluten Grundes ist Thatsache, was den relativen anlangt, so ruht er jetzt noch in der Hypothese, und es bedarf erst noch experimentaler Untersuchungen, die bis jetzt nicht vorliegen, um zu entscheiden, ob er überhaupt besteht.

In der That kann es noch sehr fraglich sein, ob wirklich nach einem für die Erinnerung bestehenden Gesetze eine constante Neigung stattfinde, den früheren oder späteren Reiz als den grösseren in Vergleich zu ziehen, ob nicht vielmehr der Unterschied, gleichviel, ob der vorangehende oder folgende Reiz der grössere ist, überhaupt nur undeutlicher wird, so dass er nach Zufälligkeiten eben sowohl durch Erinnerung vergrössert als verkleinert erscheinen kann, was keinen constanten Fehler, sondern nur einen Einfluss auf die, von der Zeitdistanz unstreitig mit abhängige, Grösse der relativen Unterschiedsempfindlichkeit begründen und bedeuten würde. Noch weniger lässt sich übersehen, inwiefern der relative Grund bei einem Wechsel der Raumlage des grösseren und kleineren Reizes in Betracht kommen könnte, wenn schon zu völliger Sicherstellung desshalb nöthig wäre, durch directes Mass der absoluten Empfindlichkeit der Theile, auf welche die Reize β, β' fallen, nach den dazu geeigneten Methoden sich zu überzeugen, dass die constanten Fehler ihrer Grösse nach durch Verhältnisse dieser Empfindlichkeiten gedeckt werden können.

Für das Folgende ist die Frage, inwiefern der erste oder zweite Grund vorzugsweise oder allein im Spiele sei, insofern überhaupt nicht wesentlich, als die folgenden Betrachtungen und Formeln für die eine und andere Ursache gleich gültig bleiben, ohne eine Unterscheidung nöthig zu machen, indess sie doch auch eine Einführung der Unterscheidung gestatten, sofern sich solche nach Erfahrung bewirken lassen sollte.

Wenn der Unterschied zwischen zwei Reizen verschieden gross erscheint, je nachdem von den zwei verschieden angebrachten Reizen der eine oder andere im Verhältnisse Φ den Zäh-

ler bildet, so wird es, welches auch das Mass dieser Empfindung sei, eine Empfindung mittler Grösse zwischen beiden Empfindungen geben, welche U sei. Der positive und negative Zuwachs $+\alpha$ und $-\alpha$, welchen diese mittlere Empfindung je nach dem Wechsel der Lage des grösseren und kleineren Reizes erfährt, wird das sein, was in der Empfindung von diesem Wechsel abhängt, und auf die mittlere Empfindung selbst, welche wir die Normalempfindung nennen wollen, als eine, von dem Lagenwechsel der Reize unabhängige, die Unterschiedsmassformel in der früheren Aufstellungsweise bezogen werden können. Ihr Mass nach dieser Formel sei

$$U = k \log \frac{\Phi}{A}$$

indem wir hier das früher in der Massformel gebrauchte φ und v durch Φ und A ersetzen. Insofern A der Werth des Verhältnisses Φ ist, bei dem die Normalempfindung verschwindet, können wir den Ausdruck Normalschwelle dafür brauchen. Unten wird gezeigt werden, wie sie durch Erfahrung zu bestimmen ist.

Seien nun allgemein u und u' die vom Lagenwechsel mit abhängigen Empfindungen, und zwar u oder u', je nachdem es der Reiz β oder β' ist, welcher als der grössere in den Zähler tritt, so haben wir, so lange u, u' mit Wachsthum von Φ wachsen, d. h. der empfundene Unterschied im rechten Sinne stattfindet*), welches bei hinreichend grossem Φ stets der Fall ist

$$u = k \log \frac{\varphi}{A} + \alpha$$

$$u' = k \log \frac{\varphi'}{A} - \alpha$$

Nun hindert nichts, der Grösse α eine beliebig andere Form zu geben. Setzen wir also $\alpha = k \log B$, indem wir B die demgemässe Grösse geben, so erhalten wir folgende Formeln, die wir kurz die Lagenformeln nennen:

$$u = k \left(\log \frac{\varphi}{A} + \log B\right) = k \log \frac{\varphi B}{A} \qquad (1)$$

$$u' = k \left(\log \frac{\varphi'}{A} - \log B\right) = k \log \frac{\varphi'}{BA} \qquad (2)$$

Oder, indem wir $\frac{B}{A} = \frac{1}{\text{v}}$ und $BA = \text{v}'$ setzen:

$$u = k \log \frac{\varphi}{\text{v}}\,;\;\; u' = k \log \frac{\varphi'}{\text{v}'}$$

*) Die Aufstellung der Unterschiedsmassformel selbst setzte nämlich diesen Sinn voraus.

Wie man sieht, sind wir hiemit zur Form der Unterschiedsmassformel zurückgelangt, nur dass je nach der entgegengesetzten Lage des grossen und kleinen Reizes die Verhältnissschwelle einen verschiedenen Werth respectiv v und v′ angenommen hat, von denen ersterer anzuwenden ist, so lange $\beta > \beta'$, letzterer, wenn $\beta' > \beta$. Wir nennen sie die Lagenschwellen.

Die Lagenformeln sind das Allgemeinere der Unterschiedsmassformel, indem diese den besonderen Fall derselben darstellt, wo $B = 1$, was dem Falle entspricht, wo der Einfluss des Lagenwechsels verschwindet. Auch hätten sich die Lagenformeln mit ihren Specialschwellen, wie S. 100 gezeigt worden, gleich aus allgemeinen Grundgleichungen ableiten lassen, ohne erst den besonderen Fall der Unterschiedsmassformel dargestellt zu haben.

Die Normalschwelle A findet sich als geometrisches Mittel der beiden Lagenschwellen v, v′, sofern $v = \frac{A}{B}$, $v' = BA$, mithin $vv' = A^2$ und $\sqrt{vv'} = A$. Diess giebt das erfahrungsmässige Mittel an die Hand, A durch Versuche über Unterschiedsempfindlichkeit mit constanten Fehlern zu bestimmen. Man sieht zu, bei welchen Werthen φ, φ' der empfundene Unterschied verschwindet, je nachdem die eine oder entgegengesetzte Lage des grösseren Reizes statt hat, und nimmt das geometrische Mittel dieser beiden Werthe.

Des Näheren sieht man, dass jede der Lagenschwellen v, v′ aus zwei Factoren besteht, dem Factor A oder der Normalschwelle, welcher bei Verwechselung der Zeit- und Raumlage des Reizüberschusses constant bleibt, und einem anderen $\frac{1}{B}$ oder B, welcher die Fehlerschwelle heissen mag, und der beim Lagenwechsel den reciproken Werth annimmt. Wenn $A = 1$ sein sollte, welches dem Maximum der Normalempfindlichkeit entspräche, so würden letztere allein den Werth v und v′ bilden.

Der in solcher Richtung richtig empfundene Unterschied, dass β grösser als β' erscheint, wird nach Formel (1) bemerklich zu werden beginnen, wenn $\frac{\beta}{\beta'} > v$ zu werden anfängt, der in der entgegengesetzten Richtung richtig empfundene nach Formel (2), wenn $\frac{\beta'}{\beta} > v'$ zu werden anfängt; mithin der erste, wenn $\beta > v\beta'$, der zweite, wenn $\beta < \frac{\beta'}{v'}$. In dem Intervalle von $\beta = v\beta'$ bis $\beta = \frac{\beta'}{v'}$, oder, was auf dasselbe hinauskommt, im Intervalle von

$\beta' = \frac{\beta}{\mathrm{v}}$ bis $\beta' = \mathrm{v}'\beta$ oder endlich, was abermals dasselbe ist, im Intervalle von $\beta = \frac{A}{B}\beta'$ bis $\beta = \frac{\beta'}{AB}$ bleibt der empfundene Unterschied im Unbewussten.

Wenn ein Unterschied in verkehrtem Sinne empfunden wird, so dass der grössere Reiz als der kleinere erscheint, und mit Wachsthum von Φ der Werth u abnimmt, mit Abnahme von Φ wächst, so sind die obigen Lagenformeln noch eben so verwendbar, nur dass dann das Vorzeichen, was sie für den empfundenen Unterschied auswerfen, in entgegengesetztem Sinne zu deuten ist. Diess ergiebt sich theils aus einer näheren Betrachtung der Weise, wie der verkehrt empfundene Unterschied mit dem richtig empfundenen zusammenhängt, theils, und mit Strenge, bei einer Ableitung der Lagenformeln aus den Grundgleichungen (vgl. S. 100).

Des Näheren stellt es sich so damit.

Alle Fälle, wo nur richtig empfundene Unterschiede möglich sind, werden nach unseren Formeln dadurch gedeckt, dass sowohl v als v′ grösser als 1 ist, indem der richtig empfundene Unterschied voraussetzt, dass β grösser als β' erscheine, so lange β grösser als β', mithin $\varphi > 1$ ist, und dass β' grösser erscheine, als β, so lange β' grösser, als β, mithin $\varphi' > 1$ ist, bis zur Erreichung des Schwellenwerthes von Φ; von wo an der empfundene Unterschied unbewusst wird; also müssen alle Werthe von φ sowohl als φ' bis zur Erreichung von v und v′, und v und v′ selbst als Gränze, grösser als 1 sein. Hingegen werden die Fälle, wo ein Unterschied in verkehrtem Sinne empfunden werden kann, dadurch gedeckt, dass blos die eine von beiden Schwellen v, v′ einen Werth grösser als 1, indess die andere zugleich einen Werth kleiner als 1 hat.

In der That, sei β der Reiz, welcher grösser erscheinen kann, als der andere, trotz dem, dass er kleiner ist, so wird er natürlich um so mehr grösser erscheinen, wenn er ihm gleich ist, oder wenn er gar irgendwie grösser ist, wonach ein Schwellenwerth von $\varphi = \frac{\beta}{\beta'}$ überhaupt bei keinem Werthe über 1 und nicht einmal bei 1 selbst, welches der Gleichheit von β mit β' entspricht, erreicht werden kann; der Reiz β' muss erst grösser als β werden, damit scheinbare Gleichheit eintrete. Also muss der Schwellenwerth v, welcher gilt, so lange $\beta > \beta'$ ist, kleiner als 1, der Werth v′, welcher dem Werthe $\beta' > \beta$ entspricht, grösser als 1 sein, womit der Bedingung entsprochen wird, dass jener Werth nicht erreicht werden kann, dieser erreicht werden kann.

Auch im jetzigen Falle aber werden die Gränzen des Intervalles, in welchem die Empfindung des Unterschiedes unbewusst wird, durch die Werthe $\beta = \mathrm{v}\beta'$ und $\beta = \frac{\beta'}{\mathrm{v}'}$ bestimmt. Da nun $\mathrm{v} < 1$ und $\frac{1}{\mathrm{v}'}$ ebenfalls < 1 ist (weil $\mathrm{v}' > 1$ ist), so ist β an beiden Gränzen $< \beta'$, und das Intervall der

unbewussten Werthe des empfundenen Unterschiedes fällt ganz auf die Seite, wo $\beta' > \beta$. So lange $\beta > v\beta'$, hat der empfundene Unterschied einen bewussten Werth in der einen Richtung, sinkt β unter $\frac{\beta'}{v}$, so nimmt er die entgegengesetzte Richtung mit bewusstem Werthe an; das Intervall, in welchem der empfundene Unterschied verkehrte Werthe annimmt, ist das von $\beta = \beta'$ bis $\beta = v\beta'$. In diesem Intervalle ist nämlich $\beta < \beta'$, weil $v < 1$; aber trotz dem erscheint der Unterschied noch in erster Richtung, in welcher er bei Uebergewicht von β über β' erscheint.

Um das Mass der verkehrten Empfindungswerthe in dem Intervalle zu erhalten, wo β fälschlich grösser als β' scheint, haben wir die für φ' gültige Formel (2) zu verwenden, weil wirklich $\beta' > \beta$ ist, aber das negative Vorzeichen von u', was wir hiebei erhalten, in das positive umzukehren, oder, statt auf Unbewusstsein zu deuten, auf Bewusstsein einer Empfindung von verkehrtem Sinne zu deuten, indem der empfundene Unterschied in diesem Intervalle zwar wirklich in dem Sinne von u' unbewusst ist, wie es dem negativen Vorzeichen entspricht, aber in das Intervall bewusster Werthe entgegengesetzten Sinnes reicht.

Diess ist keine willkührliche Regel, weil sich bei der fundamentalen Begründung der Formeln (S. 100) zeigt, dass die Formel (2) im Falle verkehrter Empfindung überhaupt durch die Formel

$$u' = k\,(\log v' - \log \varphi')$$

zu ersetzen ist, welche den Ausdruck unserer Regel der Vorzeichendeutung unmittelbar enthält.

Achten wir in der Aufstellung der Formeln auf den Wechsel der Zeitlage und Raumlage besonders, so löst sich damit nach einer entsprechenden Herleitung, als für den bisher betrachteten einfachen Fall, die vom Wechsel abhängige Fehlerschwelle B oder $\frac{1}{B}$, welche als Factor in die Lagenschwelle v, v′ eingeht, ihrerseits in zwei Factoren auf, einen von der Zeitlage abhängigen z, welcher bei Verwechselung der Zeitlage den reciproken Werth $\frac{1}{z}$ annimmt, und einen von der Raumlage abhängigen r, welcher bei Verwechselung der Raumlage den reciproken Werth annimmt, so dass wir statt blos zweier Fehlerschwellen B und $\frac{1}{B}$ jetzt, je nach der vierfach möglichen Verwechselung der Zeit- und Raumlage des grösseren und kleineren Reizes, wie sich solche durch die 4 Hauptfälle unserer Gewichtsversuche (Th. I. S. 113) erläutert, vier Fehlerschwellen erhalten, womit die Normalschwelle A respectiv zu multipliciren ist, um die zu jeder Lage des Mehrge-

wichtes oder Untergewichtes (die natürlich zusammenhängen) gehörige Lagenschwelle zu geben. Seien F_1, F_2, F_3, F_4 diese 4 Fehlerschwellen, und ihre gemeinsame Bezeichnung F, so haben wir, wenn die eine dieser Schwellen zr ist, für die anderen $\frac{1}{zr}$, $\frac{z}{r}$, $\frac{r}{z}$, so dass je zwei derselben einander reciprok sind. Dabei ist es natürlich gleichgültig, welche derselben wir mit F_1, F_2 etc. bezeichnen wollen, so wie es auch an sich gleichgültig ist, für welchen Hauptfall wir die eine oder andere dieser allgemeinen Bezeichnungen verwenden wollen, nur dass wir die anderen consequent verwenden, indem sich, von welcher Verwendungsweise der Werthe z, r wir auch ausgehen mögen, dieselben immer so bestimmen lassen, dass sie der Erfahrung genügen. Setzen wir demnach folgends für die 4 Hauptfälle*):

$$F_1 = \frac{1}{zr}\,;\; F_2 = \frac{z}{r}\,;\; F_3 = \frac{r}{z}\,;\; F_4 = zr$$

so haben wir mit diesen Werthen von F_1, F_2 etc. die Normalschwelle A zu multipliciren, um die, den 4 Lagen des grösseren und kleineren Gewichtes gegen einander zugehörigen Lagenformeln zu erhalten; wonach die Empfindung u respectiv für die 4 Hauptfälle folgende Werthe annimmt:

$$u_1 = k \log \frac{\Phi zr}{A}\,;\; u_2 = k \log \frac{\Phi r}{Az}\,;\; u_3 = k \log \frac{\Phi z}{Ar}\,;\; u_4 = k \log \frac{\Phi}{Azr} \quad (3)$$

Durch Addition dieser 4 Empfindungen, und Division mit 4, nachdem man die Summe der Logarithmen in den Logarithmus des Productes verwandelt hat, erhält man wieder die von der Zeit- und Raumlage unabhängige Empfindung

$$U = k \log \frac{\Phi}{A}$$

Unter den vorigen Lagenformeln sind diejenigen, welche nach Zeit und Raum zugleich entgegengesetzten Lagen des Mehrgewich-

---

*) Unstreitig wäre es formell an sich zweckmässiger (wenn schon in der Sache gleichgültig), die Werthe F_1, F_2 etc. nach ihren Indices so zu ordnen, dass je zwei reciproke Werthe hinter einander stehen. Indess habe ich die obige Ordnung angenommen, um sie mit der bei den Gewichtsversuchen des ersten Theils S. 113 eingehaltenen in Beziehung zu erhalten, welche von mir gewählt wurde, ehe mir noch die Gesichtspuncte einer zu treffenden Wahl klar vorlagen, und später, nachdem schon viele Versuchsreihen nach dieser Ordnung behandelt waren, nicht ohne Uebelstand wieder aufgegeben, und ohne zu grosse Gefahr von Versehen in eine andere übersetzt werden konnte.

tes entsprechen, dadurch charakterisirt, dass sie reciproke Werthe der Fehlerschwellen enthalten, also die für u_1 und u_4, so wie für u_2 und u_3. Sie mögen bezüglich zu einander conjugirte heissen.

Anstatt, wie bisher, das Reizverhältniss Φ bei allen Lagenveränderungen unverändert zu denken und den Einfluss der Lage auf Abänderung des normalen Schwellenwerthes A durch Multiplication mit der Fehlerschwelle zu beziehen, kann man nach der Bemerkung S. 195 und der Form der Formeln (1), (2), (3) den Einfluss der Lage eben so gut auf Abänderung des Reizverhältnisses Φ durch Multiplication mit dem reciproken Werthe der Fehlerschwelle bezogen denken, indess man die Normalschwelle A als unveränderte Schwelle behält. Erstenfalls denken wir uns ein durch die Lage der Reize ungeändertes Reizverhältniss je nach der Lage der Reize mit verschiedener Empfindlichkeit aufgefasst, letztenfalls ein Verhältniss von Reizen, die je nach ihrer Lage in abgeänderter Weise wirken, mit einer von der Lage unabhängigen Empfindlichkeit aufgefasst. Beide Vorstellungsweisen hängen durch den Gesichtspunct zusammen, dass eine gegen den Normalfall abgeänderte Empfindlichkeit für ein Reizverhältniss dem Empfindungseffecte nach immer durch ein abgeändertes Grössenverhältniss der Reize beim Normalfalle vertreten werden, und selbst von einem abgeänderten Verhältnisse psychophysischer Bewegungen, welche durch dieselben Reize hervorgerufen werden, abhängig gemacht werden kann. Obwohl nun hienach die zweite Auffassungsweise nur formell von der ersten verschieden ist, verdient sie doch, namentlich wegen der Repräsentation der constanten Fehler, die sich dadurch ergiebt, und des Bezuges, den sie hiemit zu den Massmethoden der Empfindlichkeit gewinnt, eine besondere Betrachtung, wobei wir gleich den allgemeineren Fall, dass ein Einfluss der Zeitlage und Raumlage zugleich in Rücksicht kommt, zu Grunde legen.

Anstatt also, wie früher, die Normalschwelle A mit den 4 Fehlerschwellen F_1, F_2, F_3, F_4 zu multipliciren, multipliciren wir nach der jetzigen Auffassungsweise das Reizverhältniss Φ mit den reciproken Werthen dieser Fehlerschwellen, welche wir respectiv mit $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, $\mathfrak{F}_3$, $\mathfrak{F}_4$, allgemein mit $\mathfrak{F}$ bezeichnen wollen, so dass

$$\mathfrak{F}_1 = zr; \quad \mathfrak{F}_2 = \frac{r}{z}; \quad \mathfrak{F}_3 = \frac{z}{r}; \quad \mathfrak{F}_4 = \frac{1}{zr}$$

wodurch wir natürlich nur in anderer Form zu den Formeln (3)

zurückgeführt werden, deren weitere Erläuterung sich wieder an unsere Gewichtsversuche knüpfen mag.

Bei diesen Versuchen, wo das Reizverhältniss Φ allgemein durch $\frac{P+D}{P}$ gegeben ist, hat D nur einen kleinen Werth gegen P, und z und r, so wie $\frac{1}{z}$ und $\frac{1}{r}$ weichen wenig von der Einheit, erstere in einem, letztere in entgegengesetztem Sinne ab, da durch die constanten Fehler das wahre Gewichtsverhältniss doch nur in kleinem Verhältnisse abgeändert erscheint. Setzen wir also $z = 1 + \zeta$, und $r = 1 + \varrho$, so werden ζ und ϱ nur kleine positive oder negative Zuwüchse zu 1 sein, deren höhere Potenzen und Producte zu vernachlässigen sind, und $\frac{1}{z}$, $\frac{1}{r}$ durch $1 - \zeta$, $1 - \varrho$ vertreten werden können, insofern bei Ausführung der durch $\frac{1}{1+\zeta}$ und $\frac{1}{1+\varrho}$ angezeigten Division und Vernachlässigung der Potenzen von ζ und ϱ, welche die erste übersteigen, der Werth $1 - \zeta$ und $1 - \varrho$ als Quotient bleibt*). Substituiren wir nun in die Ausdrücke für u_1, u_2 etc. den Werth $\frac{P+D}{P}$ für Φ und die Werthe $1 + \zeta$ und $1 + \varrho$ für z und r, die Werthe $1 - \zeta$, $1 - \varrho$ für $\frac{1}{z}$, $\frac{1}{r}$, so erhalten wir:

$$u_1 = k \log \frac{(P+D)(1+\zeta)(1+\varrho)}{PA} \text{ etc.}$$

Sofern wir aber auch das Product der Grössen ζ, ϱ wegen ihrer Kleinheit vernachlässigen können, geht diess bei Ausführung der Multiplication über in

$$u_1 = k \log \frac{P+D+(P+D)(\zeta+\varrho)}{AP}$$

etc. der Art, dass sich die Werthe für u_2, u_3, u_4 nur durch andere Vorzeichen vor ζ, ϱ vom Werthe u_1 unterscheiden.

Erinnern wir uns nun, dass, im Falle kein Einfluss der Zeit- und Raumlage stattgefunden hätte, die Empfindung nach der Unterschiedsmassformel gewesen wäre

$$u = k \log \frac{P+D}{AP}$$

so ist $(P+D)(\zeta+\varrho)$ die Grösse, um welche durch diesen Einfluss

---

*) Aus gleichem Grunde kann $\frac{P}{P+c}$ durch $\frac{P-c}{P}$ und $\frac{P}{P-c}$ durch $\frac{P+c}{P}$ ersetzt werden, wenn c klein gegen P ist, wovon man mehrfach Gelegenheit findet, Gebrauch zu machen.

das Gewicht $P+D$, oder, was auf dasselbe herauskommt, das Mehrgewicht D in seiner Wirkung auf die Empfindung abgeändert erscheint; indess das Gewicht P als constant erscheint, das ist eben nichts Anderes, als der von der Zeit- und Raumlage abhängige constante Fehler des Gewichtes, bei dem sich D befindet.

Der constante Fehler setzt sich nach seiner doppelten Abhängigkeit zusammen aus dem von der Zeitlage abhängigen Theile $(P+D)\zeta$ und dem von der Raumlage abhängigen Theile $(P+D)\varrho$, die wir früher mit p, q bezeichnet haben und ferner so bezeichnen wollen. Sie können Componenten des constanten Fehlers heissen; insofern man sie aber selbst constante Fehler nennt, ist der Fehler, dessen Theile sie sind, als constanter Gesammtfehler zu bezeichnen. Der Kürze halber mögen wir sie als Zeitfehler und Raumfehler unterscheiden.

Durch Substitution von p, q für $(P+D)\zeta$ und $(P+D)\varrho$ erhalten wir nun statt der Gleichungen (3) folgende Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} u_1 &= k \log \frac{P+D+p+q}{AP}\,; & u_2 &= k \log \frac{P+D-p+q}{AP} \\ u_3 &= k \log \frac{P+D+p-q}{AP}\,; & u_4 &= k \log \frac{P+D-p-q}{AP} \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Da durch Versuche sich p und q bestimmen lassen, da auch A nach S. 128 bestimmbar ist und P und D gegeben sind, endlich k beliebig $= 1$ gesetzt werden kann, weil die Einheit von u beliebig ist, so ist hiemit Alles gegeben, was zum Masse des empfundenen Unterschiedes im Falle constanter Fehler nöthig ist.

Nennen wir den constanten Gesammt-Fehler, gleichviel wovon er abhängt und ob er positiv oder negativ ist, allgemein c, so sind vorstehende 4 Lagenformeln nur besondere Fälle der allgemeinen Formel

$$u = k \log \frac{P+D+c}{AP} \qquad (5)$$

worin c je nach der 4fach möglichen Zeit- und Raumlage des Reizes, zu welchem D hinzutritt, einen vierfach verschiedenen Werth, respectiv c_1, c_2, c_3, c_4 annimmt, entsprechend den 4 Fehlerschwellen und Lagenfactoren. Insbesondere haben wir hienach

$$\left.\begin{aligned} c_1 &= p + q; & c_2 &= -p + q; \\ c_3 &= +p - q; & c_4 &= -p - q; \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

wonach c_1 und c_4, sowie c_2 und c_3 bei gleicher Grösse ein entgegengesetztes Vorzeichen haben. Sie können bezüglich zu einander

conjugirt heissen, sofern sie den conjugirten Gleichungen im Sinne von S. 132 zugehören.

Man darf übrigens nicht vergessen, dass die Gleichungen (6) nur insofern gültig sind, als z und r wenig von der Einheit abweichen, mithin ζ und ϱ kleine Bruchtheile sind, d. i. wenn der Zeit- und Raumfehler nur wenig im Verhältnisse zu $P+D$ beträgt; widrigenfalls in den Ausdruck von c_1, c_2 etc. auch Potenzen und Producte von p, q mit eingehen; wie man leicht findet, wenn man die vorigen Entwickelungen vornimmt, ohne etwas zu vernachlässigen.

Bei den zur Erläuterung untergelegten Versuchen, welche nach dem Schema meiner Gewichtsversuche angestellt und behandelt werden, wird das Mehrgewicht D successiv in die 4 möglichen Lagen gebracht, so dass es bei jeder mit positivem Vorzeichen zum Hauptgewichte hinzutritt, dessen Lage man ins Auge fasst, und der constante Fehler c wird stets auf das hiedurch vergrösserte Hauptgewicht bezogen. An sich aber hindert nicht nur nichts, sondern es kann auch unter Umständen formelle Dienste leisten, wie sich gleich zeigen wird, den constanten Fehler auf das kleinere Gewicht zu beziehen, welches sich in entgegengesetzter Lage als das grosse befindet, also ein entgegengesetztes c hat, wozu dann nur nöthig ist, das grössere Gewicht als Hauptgewicht P in den Nenner voriger Formeln einzuführen, und das D im Zähler negativ zu nehmen, da natürlich das kleinere Gewicht eben so viel Untergewicht gegen das grössere, als dieses Uebergewicht gegen das kleinere hat. Unter dieser Voraussetzung hat man in Fällen, wo das positive Mehrgewicht D dieselbe Lage beibehält, wie es innerhalb eines und desselben Versuches, so wie Hauptfalles der Versuche der Fall ist, immer die Wahl, beliebig die eine oder andere der conjugirten Gleichungen anzuwenden, deren eine dann immer auf das grössere Gewicht, die andere auf das kleinere Gewicht zu beziehen ist, wobei der ganze Werth $D+c$ bei gleicher Grösse ein entgegengesetztes Vorzeichen für das grössere und kleinere Gewicht annimmt, und der Werth von P zwischen dem Werthe des kleineren und grösseren Gewichtes wechselt.

Macht man sich nun zur Regel, von je zwei conjugirten Gleichungen stets diejenige zur Bestimmung des Werthes u anzuwenden, in welcher $D+c$ positiv ist (was bei negativem D der Fall ist, wenn c zugleich positiv und $> D$ ist), so tritt dadurch $P+D+c$

überall an die Stelle des grösseren Reizes, P an die des kleineren Reizes der Unterschiedsmassformel; und kann man es ganz so ansehen, als wenn man u nach dieser Formel bestimmte, welche keine besondere Regel wegen Umkehr des Vorzeichens im Falle verkehrt empfundener Unterschiede nöthig macht. Wir erhalten vielmehr so in jedem Falle ein positives Vorzeichen von u für einen bewussten, ein negatives für einen unbewussten Werth. Die verkehrt empfundenen Fälle unterscheiden sich aber dann von den richtig empfundenen dadurch, dass die verkehrt empfundenen der Anwendung des negativen D, die richtig empfundenen der des positiven D entsprechen.

Sollten beide Reize gleich sein, so würden die vorigen Formeln immer noch dienen können, den Werth der Empfindung je nach der Zeit- und Raumlage der Gewichte zu bestimmen, indem wir D gleich Null setzen, und den Reiz in den Zähler setzen, dessen constanter Fehler positiv ist, um positive Werthe von u bewussten Werthen der Empfindung entsprechend zu finden.

Nach dem Bisherigen lässt sich die Lagenformel für einen und denselben empfundenen Unterschied u unter drei verschiedenen Formen aufstellen, je nachdem man den Einfluss der Lage durch die Lagenschwelle F, oder den ihr reciproken Lagenfactor $\mathfrak{F}$, oder den functionell damit zusammenhängenden constanten Fehler c darstellt, nämlich unter Rücksicht, dass $\Phi = \frac{P+D}{D}$, durch

$$u = k \log \frac{P+D}{PA} \cdot \frac{1}{F}$$

$$u = k \log \frac{(P+D)\mathfrak{F}}{PA}$$

$$u = k \log \frac{P+D+c}{PA}$$

Aus der Aequivalenz dieser Gleichungen ergiebt sich das functionelle Verhältniss zwischen c und F oder $\mathfrak{F}$. Denn man hat danach

$$\frac{P+D}{F} = (P+D)\mathfrak{F} = P+D+c$$

mithin $$c = \frac{(1-F)(P+D)}{F} = (\mathfrak{F}-1)(P+D)$$

$$F = \frac{P+D}{P+D+c}\,; \quad \mathfrak{F} = \frac{P+D+c}{P+D}$$

Für die 4 Hauptfälle specificiren sich diese Formeln, indem, wenn F, $\mathfrak{F}$ respectiv die Werthe F_1, $\mathfrak{F}_1$ etc. annimmt, zugleich c den Werth c_1 etc. annimmt; welcher nach S. 134 durch $p+q$ gegeben ist u. s. f.

Diese functionellen Beziehungen bleiben gleich gültig, mag der Einfluss der Lage beträchtlich oder unbeträchtlich sein, mithin c ein grosses oder kleines Verhältniss zu $P + D$ haben; nur dass blos bei kleinem Verhältnisse von c gegen $P + D$, welches einer geringen Abweichung der Werthe F und $\mathfrak{F}$ von 1 entspricht, die einfache Zusammensetzung von c stattfindet, welche durch die Gleichungen (6) gegeben ist. Im Falle eines kleinen c kann man dann auch (nach S. 133 Anmerk.*) für den Ausdruck $F = \frac{P+D}{P+D+c}$ schreiben:

$$F = \frac{P+D-c}{P+D}$$

Nachdem wir anstatt der von der Lage abhängigen Fehlerschwellen und Lagenfactoren die constanten Fehler in unsere Formeln eingeführt haben, werden wir auch zweckmässig anstatt der von der Lage unabhängigen Normalschwelle A den von der Lage unabhängigen, normalen, eben merklichen Unterschied, d. i. den Werth von D, wo der empfundene Unterschied, abgesehen vom Einflusse der Lage, auf die Schwelle tritt, welcher Werth d heisse, einführen, indem wir setzen

$$A = \frac{P + d}{P} = 1 + \frac{d}{P}$$

Ziehen wir dazu in Rücksicht, dass bei den Versuchen, die wir hier im Auge haben, D und c, so wie die Summe beider, immer nur klein gegen P ist, so lässt sich die Formel (5) noch wie folgt vereinfachen.

Sei der Kürze halber

$$\frac{D + c}{P} = E \text{ und } \frac{d}{P} = \omega,$$

so sind E und ω kleine Brüche, und die Formel (5) geht mit Rücksicht hierauf successiv über in

$$\begin{aligned} u &= k \log \frac{1 + E}{1 + \omega} && (a) \\ &= k \log (1 - \omega)(1 + E) && (b) \\ &= k \log (1 + E - \omega) && (c) \\ &= kM (E - \omega) && (d) \\ &= K (E - \omega) && (e) \end{aligned}$$

Es folgt nämlich (b) aus (a), wenn wir die Division $\frac{1}{1 + \omega}$ ausführen, und höhere Potenzen von ω im Quotienten vernachlässi-

*) Indem man nämlich $P + D$ anstatt P als grossen Werth in Betracht zieht.

gen, wo sich $\frac{1}{1+\omega} = 1 - \omega$ ergiebt. Es folgt (c) aus (b), wenn wir die Multiplication $(1-\omega)(1+E)$ ausführen, und das Product der kleinen Grössen ω und E vernachlässigen; es folgt (d) aus (c), insofern $E - \omega$ klein gegen 1 ist, so dass die Regel (S. 5) anwendbar wird, wenn wir für α setzen $E - \omega$; es folgt endlich (e) aus (d), indem wir kM in die Constante K zusammenziehen.

Lösen wir nun die so definitiv gefundene Formel

$$u_1 = K(E - \omega)$$

wieder auf, indem wir für E und ω ihre Werthe setzen, so finden wir

$$u = \frac{K(D+c-d)}{P} \qquad (7)$$

welche Formel sich in die, den verschiedenen Hauptfällen entsprechenden, Lagenformeln dadurch auseinanderlegt, dass wir für c die den verschiedenen Lagen zugehörigen Werthe und Vorzeichen substituiren.

Unter diesen Formeln haben wir dann auch stets diejenige anzuwenden, wo $D + c$ positiv ist, um allgemein positive Werthe von u bewussten, negative unbewussten Werthen der Empfindung zugehörig zu erhalten; und auch hier entsprechen dann verkehrt empfundene Unterschiede dem Falle, wo D negativ ist, indess $D + c$ positiv ist, d. i. wo der an sich kleinere Reiz durch seinen constanten Fehler das Uebergewicht erhält.

Auf S. 103 hatten wir als Unterschiedsmassformel für den Fall, dass ein empfundener Unterschied den nur eben merklichen wenig übersteigt, was ein kleines D voraussetzt, und dass der eben merkliche Unterschied, d. i. d selbst klein ist, die Formel

$$u = K(\vartheta - \omega)$$

gefunden. Berücksichtigt man nun, dass nach der Bedeutung von ϑ und ω

$$\vartheta = \frac{D}{P}\,;\ \omega = \frac{d}{P}$$

so geht diese Formel über in

$$u = \frac{K(D-d)}{P}$$

wonach man sieht, wie sie als der besondere Fall unter die Lagenformel tritt, wo c gleich null; und unmittelbar übersieht, wie sich c eben sowohl als eine Abänderung von D wie von d fassen lässt.

Wenn die Fehlerschwellen und Lagenfactoren F, $\mathfrak{F}$ bei ver-

schiedener absoluter Grösse des Reizes P constant blieben, so würde der Einfluss der Lage nicht hindern, dass sich das Weber'sche Gesetz durch Versuche über Unterschiedsempfindlichkeit mit verschiedenem P bei Festhaltung einer und derselben Lage direct bestätigte. Aber nach meinen Gewichts-Versuchen ändern sich im Allgemeinen z, r, hiemit F, $\mathfrak{F}$ und hiemit der Factor, welcher den Werth $P+D$ im Ausdrucke des constanten Fehlers (nach S. 136) multiplicirt, mit der Grösse von P, und diess macht nöthig, einmal, dass man, um bei solchen Versuchen mit abgeändertem P eine Bestätigung des Weber'schen Gesetzes zu erhalten, die constanten Fehler eliminiren, und so durch Rechnung den Fall herstellen muss, als wenn die empfundenen Unterschiede blos von der Unterschiedsmassformel, nicht den Lagenformeln, abhingen; zweitens, dass man, um die Lagenformeln triftig zum Masse empfundener Unterschiede zu verwenden, die Werthe z, r, F, $\mathfrak{F}$, so wie die davon abhängigen Werthe in den constanten Fehlern bei veränderten Werthen von P mit veränderten Werthen, allgemein als Function von P, einführen muss, in welcher Beziehung es wichtig ist, die Abhängigkeitsverhältnisse dieser Werthe von P näher zu untersuchen, wozu ich in meinen, in den »Massmethoden« specieller mitzutheilenden, Versuchen zwar manche Beiträge liefern kann, in der Hauptsache aber doch auf noch anzustellende Untersuchungen zu verweisen habe.

Mit Vorigem hängt zusammen, dass, wenn schon nach S. 136 in den constanten Fehler c allgemein der Factor $P+D$ eingeht, doch c im Allgemeinen nicht proportional mit $P+D$ gefunden wird, indem der andere Factor $\mathfrak{F}-1$ oder $\frac{1-F}{F}$ ebenfalls davon abhängt.

Seither habe ich immer blos eine Abhängigkeit der Fehlerschwellen, Lagenfactoren und hienach auch constanten Fehler von der Zeit- und Raumlage der verglichenen Grössen in Betracht gezogen; aber auch die Weise, wie man die Grössen zum Vergleiche herstellt, d. i. die Weise der Manipulation bei den Versuchen, kann die verglichenen Grössen ungleich treffen, und hieraus ein Einfluss entstehen, der unter ganz dieselben Gesichtspuncte tritt, als der von der Lage abhängige, nur dass der Grund hier weniger leicht, und zum Theil gewiss nicht, in Abän-

derungen der absoluten Empfindlichkeit für die Reize gesucht werden kann.

In der That kommt sicher unter Umständen eine Abhängigkeit des constanten Fehlers *c* ausser von der Lage der Grössen auch von der Herstellungsweise der Grössen vor. So kann bei der Methode der eben merklichen Unterschiede ein constanter Fehler entgegengesetzten Vorzeichens entstehen, je nachdem wir den grösseren Reiz durch Verkleinerung oder den kleineren Reiz durch Vergrösserung bis zur scheinbaren Gleichheit mit dem anderen bringen; und bei der Methode der mittleren Fehler ein constanter Fehler darauf beruhen, dass wir stets die Fehlgrösse, aber nicht die Normalgrösse der Abänderung bis zur scheinbaren Gleichheit mit der anderen unterwerfen.

Mehrere meiner Tastversuchsreihen nach der Methode der mittleren Fehler mit Selbstapplication der Zirkel zeigen einen sehr beträchtlichen constanten Fehler, welcher nach Elimination des Zeit- und Raumfehlers noch übrig bleibt, und nur diesem Grunde scheint zugeschrieben werden zu können; bei Application der Zirkel durch einen Gehülfen aber fehlte oder doch zweideutig blieb.

Wo nun überhaupt noch andere Abhängigkeitsverhältnisse der constanten Fehler, als von der Zeit- und Raumlage stattfinden, ändert diess nichts in den Principien, aus denen die vorigen Formeln entwickelt sind, und hienach auch nichts in den Formeln, welche *c* enthalten, es explicirt sich blos *c* anders, was sich leicht nach blosser Analogie übersehen lässt, und die Zahl der Lagenformeln wächst.

Zweckmässig lässt sich an das Vorige die Betrachtung der Wirkungsweise der Zufälligkeiten anknüpfen, welche, wie Th. I. S. 76 geltend gemacht wurde, bei allen Massmethoden der Unterschiedsempfindlichkeit eine grosse Rolle spielen, und zugleich hiemit die Regel rechtfertigen, welche ebenda gegeben ward, Masse der Unterschiedsempfindlichkeit nur insofern vergleichbar zu halten, als man einen gleichen Spielraum von Zufälligkeiten dabei voraussetzen kann.

Kurz gesagt repräsentirt sich die Wirkung der Zufälligkeiten als eine, mit der Grösse des Spielraums derselben wachsende, Vergrösserung der Normalschwelle *A*, welche im Mittel einer Mehrzahl von Versuchen hervorgeht, und sich nicht in diesem Mittel aus-

gleicht, und als eine Abänderung der Fehlerschwelle F oder des Lagenfactors $\mathfrak{F}$ in jedem einzelnen Versuche, die durchschnittlich eben so oft und stark im Plus als Minus stattfindet, und sich im Mittel ausgleicht, oder was dasselbe sagt, als eine mit dem Spielraume der Zufälligkeiten wachsende Vergrösserung des Werthes d und als eine im Mittel sich ausgleichende abwechselnde Vergrösserung und Verkleinerung des Werthes c.

In der That, je grösser der Spielraum der Zufälligkeiten bei den Versuchen ist, um so kleiner fällt factisch das aus einem Mittel vieler Versuche zu gewinnende Mass der Unterschiedsempfindlichkeit aus, wie schon Th. I. S. 77 geltend gemacht wurde, ausserdem aber kann der Grössenunterschied in jedem einzelnen Versuche durch Zufälligkeiten vergrössert oder verkleinert erscheinen, und diese Wirkungen compensiren sich nothwendig, indem sie, sofern es nicht der Fall ist, nicht mehr als Sache von Zufälligkeiten, sondern constanten Fehlern angesehen werden.

Des Näheren lässt sich diess so erläutern:

Geht man von dem idealen Falle aus, dass ein Unterschied unter den günstigst möglichen Verhältnissen in die Empfindung fällt, so würde doch, da ein absolut kleiner Unterschied überhaupt nicht als besonderer empfunden werden kann, sondern in der Empfindung aufgeht, ein gewisser Werth d als eben merklicher Unterschied stattfinden, den übrigens nichts hindert, im Gränzfalle der Empfindlichkeit null zu setzen, ohne dass diess in der folgenden Betrachtung etwas ändert. Der günstigste Fall lässt sich aber überhaupt nicht absolut treffen, weil die Zufälligkeiten bald in diesem, bald jenem Sinne Abweichungen von den günstigsten Verhältnissen hervorbringen. Welchen Sinn nun aber auch diese Abweichungen haben, so kann ihr Einfluss als Abweichung vom günstigsten Zustande immer nur der einer Verkleinerung der Empfindlichkeit, mithin Vergrösserung von A oder von d sein, welche mit der Vergrösserung des Spielraums der Abweichungen zunimmt; aber vermöge der Schwankungen der Zufälligkeiten um einen mittleren Werth auch um einen mittleren Werth schwankt, welche Schwankungen als Vergrösserungen oder Verkleinerungen von A oder von c bei den einzelnen Versuchen gefasst werden können.

XXVIII. Bemerkungen zu den Massmethoden der Empfindlichkeit.

Ohne hier in alle Ausführungen eingehen zu wollen, zu denen dieser Gegenstand Anlass geben könnte, knüpfe ich Einiges, was zur Erläuterung und in gewissem Sinne selbst Erweiterung der früher besprochenen Massmethoden der Empfindlichkeit dienen kann, an die Erörterungen und Formeln des vorigen Kapitels, unter Beibehaltung der darin gebrauchten Bezeichnungen, indem ich jedoch dabei zu zeigen suchen werde, dass die Gültigkeit der Principien, um die es sich hier handeln wird, und der daraus fliessenden Regeln über die Gültigkeit dieser Formeln hinausreicht, was insofern zu bemerken ist, als die Massmethoden der Empfindlichkeit auch für Fälle zu dienen haben, wo das Weber'sche Gesetz, auf das sich die bisherigen Formeln stützen, nicht oder nicht mit hinreichender Approximation gilt.

Wie S. 125 bemerkt, kann der Einfluss der Zeit- und Raumlage der verglichenen Reize bei den Versuchen über Unterschiedsempfindlichkeit doppelt gedeutet werden. Gewiss ist, dass verschieden gelegene Reize mit verschiedener absoluter Empfindlichkeit aufgefasst werden können (absoluter Grund); fraglich, ob nicht die zeitliche oder räumliche Relation der Reize noch einen anderen Grund (relativen Grund) ins Spiel bringe.

In der That kann ein Einfluss der Zeitlage sehr wohl darauf beruhen, dass der zu zweit eintretende Reiz das empfindende Organ durch den ersten Reiz schon verändert trifft, sofern einerseits eine gewisse Nachdauer jeder Reizwirkung stattfindet, anderseits eine Abstumpfung durch jede Reizwirkung*), Einflüsse, welche in entgegengesetztem Sinne wirken, und aus deren Conflicte und respectivem Ueberwiegen nach Umständen sich die proteusartige Variabilität des Zeitfehlers nach Umständen erklären dürfte, die ich bei meinen Gewichts- und Tastversuchen beobachtet habe. Beide Einflüsse aber lassen sich bei allgemeinster Fassung des Be-

---

*) Was man Ermüdung nach Heben von Gewichten nennt, wird vielmehr auf ersteren als letzteren Umstand zu rechnen sein, da man im ermüdeten Zustande selbst ohne Last die ermüdeten Gliedmaassen als schwer spürt und dieselben Lasten schwerer als sonst findet; wogegen das, was man Ermüdung des Auges nach Sehen ins Helle nennt, vielmehr auf letzteren Umstand zu schreiben sein wird, sofern ein durch Licht ermüdetes Auge minder hell sieht, als ein nicht ermüdetes.

griffes absoluter Empfindlichkeit als auf diese gehend ansehen. Denn, wenn eine Reizwirkung in einem Organe nachdauert, so bedarf es nachher nur eines geringeren Reizes als sonst, um noch dieselbe Empfindungsgrösse hervorzurufen; der Begriff und das Mass der absoluten Empfindlichkeit kann aber nur darauf gestützt werden, dass sie im umgekehrten Verhältnisse des Reizes steht, der dieselbe Empfindungsgrösse hervorruft. Bezüglich der Abstumpfung leuchtet die Zurückführbarkeit auf eine Abänderung der Empfindlichkeit von selbst ein. Was beides übrigens nicht hindert, da man jede Abänderung der Empfindlichkeit in eine Abänderung der Reizwirkung übersetzen kann, diess auch hier zu thun, und was die Untersuchung nicht nur nicht ausschliesst, sondern in jedem Falle noch übrig lässt, inwiefern der eine oder andere Umstand Schuld an der Aenderung der Empfindlichkeit oder Reizwirkung sei.

Den Einfluss der Raumlage anlangend, so ist selbstverständlich, dass verschiedene Organe oder Theile eines empfindenden Organes oder auch dieselben Theile in verschiedenen Raumlagen, wenn diese mit Zustandsänderungen der Theile verbunden sind, mit verschiedener Empfindlichkeit behaftet sein können; und dass daher, wenn die zwei verglichenen Reize nicht immer gleichmässig mit denselben Theilen und im selben Zustande derselben aufgefasst werden, hieraus ein Einfluss auf ihre Schätzung hervorgehen kann, so, wenn ich bei den Gewichtsversuchen ein Gewicht mit einer, das andere mit der anderen Hand hebe, oder im Uebergange von einem zum anderen Gewichte mit derselben Hand das Handgelenk links oder rechts drehe, je nachdem ich in diese oder jene Richtung übergehe, kurz der Hand bei den zwei verschiedenen Gewichten eine verschiedene Stellung gebe.

So wie jeder Reiz in dem Organe, auf das er wirkt, eine gewisse Nachdauer hat und eine Abstumpfung hinterlässt, die in Conflict kommen, so wirkt auch jeder Reiz in einer gewissen Weise um sich, irradiirt einerseits auf andere Theile und stimmt anderseits die Empfindlichkeit anderer Theile antagonistisch herab, Einflüsse, die sich mit den vorigen compliciren können, wenn die Reize von verschiedenen Organen oder Organtheilen aufgefasst werden.

Insofern nun in einer oder der anderen Weise die verschiedene Zeit- und Raumlage der verglichenen Reize Einfluss auf die

absolute Empfindlichkeit gewinnt, mit der sie aufgefasst werden, werden dadurch die Schwellenwerthe b, b', deren reciproker Werth das Mass der absoluten Empfindlichkeit für diese Reize ist, abgeändert; und die Bedeutung dieser Abänderungen soll demnächst auf Grund unserer bisherigen Formeln, dann allgemeiner, in Betracht gezogen werden.

Die auf S. 95 aufgestellte Unterschiedsschwellenformel giebt uns den Werth eines wahren Empfindungsunterschiedes in Abhängigkeit von der Verschiedenheit der Schwellenwerthe b, b', wodurch diese Verschiedenheit auch hervorgegangen sein mag; die Lagenformeln des vorigen Kapitels geben uns den Werth eines empfundenen Unterschiedes in Abhängigkeit von derselben Verschiedenheit der Schwellenwerthe b, b', unter Voraussetzung, dass der Einfluss der Lage nur auf dieser Verschiedenheit, mithin dem absoluten Grunde, beruht, eine Voraussetzung, die folgends als bestehend angenommen wird. Setzen wir hienach in den Lagenformeln $A = 1$, welches der Gränze der Unterschiedsempfindlichkeit entspricht, so empfinden wir den Unterschied so wie er ist, und müssen also hiemit von den Lagenformeln auf die Unterschiedsschwellenformel zurückkommen.

Ziehen wir nun zuvörderst blos eine einfache Abhängigkeit des empfundenen Unterschiedes von der Lage in Betracht, so erhalten wir durch Setzung von $A = 1$ in den demgemässen Lagenformeln

$$\left.\begin{aligned} u &= k \log \frac{\beta}{\beta'} \; \frac{B}{1} \\ u' &= k \log \frac{\beta'}{\beta} \; \frac{1}{B} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

indess die Unterschiedsschwellenformel in der früheren Aufstellung, je nachdem wir β' oder β in den Zähler setzen, giebt:

$$\left.\begin{aligned} u &= k \log \frac{\beta}{\beta'} \; \frac{b'}{b} \\ u' &= k \log \frac{\beta'}{\beta} \; \frac{b}{b'} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Der Vergleich der Formeln (1) und (2) zeigt somit, dass

$$B = \frac{b'}{b}; \; \frac{1}{B} = \frac{b}{b'}$$

woraus das wichtige Resultat fliesst, dass wir in den Fehlerschwellen B, $\frac{1}{B}$ der Lagenformeln oder den damit reciproken Lagenfactoren das Verhältniss der absoluten Empfindlichkeit haben,

mit welchem die Reize je nach ihrer Lage aufgefasst werden; wobei ein Werth $B = \frac{b'}{b} > 1$ bedeutet, dass die Empfindlichkeit für den Reiz β grösser als für β' ist, ein Werth von $B < 1$ aber, dass umgekehrt die Empfindlichkeit für β' grösser als für β ist.

Im Falle einer zusammengesetzten Abhängigkeit der Fehlerschwellen von der Zeit- und Raumlage können wir auch für das einfache Verhältniss $\frac{b}{b'}$ und $\frac{b'}{b}$ ein zusammengesetztes Verhältniss von der Form $\frac{b_1 b_2}{b_3 b_4}$ mit 4fach verwechselbarer Stellung der Werthe darin substituiren, welches das Verhältniss der absoluten Empfindlichkeiten nach dieser zusammengesetzten Abhängigkeit bezeichnet, und an die Stelle der Werthe F_1, F_2, F_3, F_4 oder ihrer reciproken Werthe $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, $\mathfrak{F}_3$, $\mathfrak{F}_4$ tritt. Allgemein werde es $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'}$ oder $\frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}}$ genannt, so dass $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'}$ mit dem Werthe F, und $\frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}}$ mit $\mathfrak{F}$ übereinstimmt. Im Falle einer einfachen Abhängigkeit reducirt sich $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'}$ und $\frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}}$ auf $\frac{b}{b'}$ und $\frac{b'}{b}$, und was allgemeiner für $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'}$, $\frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}}$ bewiesen wird, gilt daher von selbst auch für $\frac{b}{b'}$, $\frac{b'}{b}$.

Sofern bei grösserer Empfindlichkeit für einen Reiz dieser grösser als der andere erscheint, wenn schon er ihm gleich ist, entsteht daraus für ihn ein positiver constanter Fehler, bei kleinerer Empfindlichkeit hingegen ein negativer constanter Fehler. Nun lassen sich die constanten Fehler durch unsere Massmethoden der Empfindlichkeit sehr genau bestimmen; die Abhängigkeit des Werthes $F = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'}$ oder $\mathfrak{F} = \frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}}$ je nach den Lagenverschiedenheiten der Reize von den constanten Fehlern ist im vorigen Kapitel S. 136 ebenfalls bestimmt, und hienach können die bei Versuchen über die Unterschiedsempfindlichkeit gewonnenen constanten Fehler dienen, das Verhältniss der absoluten Empfindlichkeiten für verschieden gelegene Reize finden zu lassen, insofern der absolute Grund des Lageneinflusses allein als gültig angesehen werden kann, was, wenn auch nicht überall, doch in vielen Fällen statthaft sein wird. Hienach haben wir zu dieser Bestimmung:

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'} = \frac{P+D}{P+D+c}\,;\quad \frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}} = \frac{P+D+c}{P+D}$$

und in Fällen, wo $D = 0$ ist

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'} = \frac{P}{P+c}\,;\quad \frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}} = \frac{P+c}{P}$$

Constante Fehler, welche diese Anwendung gestatten, werden gelegentlich theils durch die Methode der richtigen und falschen Fälle, theils die Methode der mittleren Fehler gewonnen. Wo man aber die Empfindlichkeitsverhältnisse zweier verschiedenen Organe oder Organtheile absichtlich vergleichen will, wird man zweckmässig die Methode der Aequivalente anwenden, welche Th. I. S. 131 auseinandergesetzt ist, und welche sich wie folgt durch unsere Formeln erläutert.

Nehmen wir die Lagenformel (1)

$$u = k \log \frac{\varphi B}{A}$$

so wird nach S. 128 f. kein Unterschied empfunden, so lange β Werthe zwischen $A\frac{\beta'}{B}$ und $\frac{1}{A}\frac{\beta'}{B}$ hat, oder der Werth $\frac{\beta}{\beta}$ zwischen $\frac{A}{B}$ und $\frac{1}{AB}$ fällt. Nun bringen wir bei der Methode der Aequivalente das Verhältniss $\frac{\beta}{\beta'}$ stets in diese Gränzen herab, und stellen eine grössere Anzahl Versuche der Art an, wobei die Wahrscheinlichkeit, nach Zufall getroffen zu werden, für alle Werthe von $\frac{\beta}{\beta'}$ zwischen jenen Gränzen gleich gross ist, so dass der Werth $\frac{A}{B}$ und $\frac{1}{AB}$, der Werth $\frac{A-x}{B}$ und $\frac{1}{(A-x)B}$ durchschnittlich gleich oft getroffen werden wird, wenn x irgend eine Grösse, die kleiner als A ist, bezeichnet. Multipliciren wir nun alle Werthe von $\frac{\beta}{\beta'}$, die wir so erhalten, und ziehen das geometrische Mittel aus diesen Werthen, so heben sich die Factoren $A-x$ und $\frac{1}{A-x}$, und wir behalten den Werth $\frac{\beta}{\beta'} = \frac{1}{B} = \frac{b}{b'}$ allein übrig, welcher uns sagt, dass sich die Schwellenwerthe direct, mithin die Empfindlichkeiten umgekehrt wie die einander äquivalenten Reize β, β', zu denen sie gehören, verhalten, was in der That die Aussage der Methode der Aequivalente ist. Hieraus erhellt zugleich, dass principiell nicht das arithmetische, sondern geometrische Mittel zwischen den verschiedenen Verhältnissen $\frac{\beta}{\beta'}$ zu nehmen ist, bei welchen Aequivalenz gefunden wurde; bei nicht zu weit abweichenden Werthen $\frac{\beta}{\beta'}$ ist aber der Unterschied zwischen beiden Mitteln zu vernachlässigen.

Sollte bei den Aequivalenzversuchen ausser der Raumlage auch die Zeitlage und Herstellungsweise der Grössen einen Ein-

fluss gewinnen, so wird man das von der Raumlage abhängige Verhältniss $\frac{b}{b'}$ oder $\frac{b'}{b}$ doch immer auf die vorige Weise rein gewinnen, wenn man gleich viel Versuche mit verwechselter Zeitlage und Herstellungsweise der Grössen auf beiden Theilen anstellt, und das geometrische Mittel aus dem Producte aller so erhaltenen Aequivalenzverhältnisse zieht, indem sich die von der Zeitlage und Herstellungsweise abhängigen Factoren hiebei ebenfalls compensiren.

Obwohl der vorige Nachweis der Benutzbarkeit der constanten Fehler und Aequivalenzen zum Vergleiche der absoluten Empfindlichkeiten sich an Formeln geknüpft hat, welche die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes voraussetzen, so ist doch diese Benutzbarkeit ganz unabhängig von der Gültigkeit dieses Gesetzes; und auch bei jedem anderen Gesetze besteht noch dieselbe Abhängigkeit des Verhältnisses F oder $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'}$ von c, welche durch die Formeln S. 145 gegeben ist, und kann die Methode der Aequivalente in derselben Weise verwendet werden. Diess übersieht sich des Näheren so:

Zwei an sich gleiche, aber verschieden angebrachte Reize, welche hier P, P' heissen mögen, würden ohne den Einfluss der Lage auch als gleich empfunden werden. Durch den Einfluss der Lage erscheint der eine, z. B. P grösser, als der andere; aber wir vermögen nach dem Principe S. 123 dadurch die Gleichheit der Empfindung wiederherzustellen, dass wir P' um einen gewissen Werth c vergrössern, welcher zugleich das Mass des constanten Fehlers bei P ist, sofern er zu dessen Compensation dient. Nun erwecken P und $P'+c$ gleich starke Empfindung. Nach dem Begriffe der absoluten Empfindlichkeiten aber stehen diese im reciproken Verhältnisse und die zugehörigen Reizschwellen $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{B}'$ im directen Verhältnisse der Reizgrössen, welche eine gleiche Empfindung geben; also haben wir

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'} = \frac{P}{P'+c}$$

oder, sofern $P' = P$ ist,

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'} = \frac{P}{P+c}\text{; mithin } \frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}} = \frac{P+c}{P},$$

wo c als constanter Fehler des Reizes anzusehen ist, auf den sich $\mathfrak{B}$ bezieht.

Da diese Formeln allgemein gültig für jeden Werth P sind, so

kann man darin auch für P setzen $P+D$. So erhält man alle Ausdrücke für $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}'}$ und $\frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}}$ wieder, welche S. 148 gegeben wurden, ohne nöthig zu haben, auf die Lagenformeln zurückzugehen.

Was die Methode der Aequivalente anlangt, so ruht sie, ebenfalls unabhängig vom Weber'schen Gesetze, im Wesentlichen nur darauf, dass, wenn zwei Reize von zwei Theilen mit verschiedener Empfindlichkeit aufgefasst werden, und man bei wiederholtem Versuche ihr Verhältniss $\frac{\beta}{\beta'}$ immer auf den Punct bringt, wo der Unterschied für die Empfindung verschwindet, dieses Verhältniss $\frac{\beta}{\beta'}$ um ein gewisses mittleres Verhältniss $\frac{b}{b'}$ schwankt, welches durch die Zufälligkeiten eben so oft und in gleichem Verhältnisse erhöht als vermindert auftritt, und als geometrisches Mittel aller Werthe $\frac{\beta}{\beta'}$, die man so erhält, gefunden werden kann. Dieses mittlere Verhältniss wird als das der Reizgrössen angesehen, welche unabhängig von Zufälligkeiten gleich erscheinen würden, und nach dem Begriffe der absoluten Empfindlichkeiten liegt hierin zugleich das Verhältniss der absoluten Empfindlichkeiten für diese Reizgrössen.

Durch die Massmethoden der Unterschiedsempfindlichkeit erhalten wir bei gegebenen Zeit- und Raumlagen der Reize immer nur den aus Raum- und Zeitfehler complicirten constanten Fehler c, entweder für sich, wie nach der Methode der mittleren Fehler, oder selbst noch mit D complicirt, in der Form $h(D+c^*)$, bei der Methode der richtigen und falschen Fälle; und es gilt dann, hieraus die einfachen Zeit- und Raumfehler abzuleiten.

Wie diess bei der Methode der richtigen und falschen Fälle zu geschehen habe, ist schon Th. I. S. 113 f. erörtert, womit das Verfahren bei der Methode der mittleren Fehler wesentlich übereinstimmt. Doch mag die Analyse des constanten Gesammtfehlers bezüglich dieser Methode hier nachträglich noch etwas näher erläutert und dabei Rücksicht auf den in der Erfahrung wirklich vorkommenden Fall genommen werden, dass c ausser von p, q auch noch von einem dritten Werthe in Abhängigkeit steht.

Legen wir dabei zum Anhalt unsere, Th. I. S. 120 ff. im

*) Das M Th. I. S. 112 stimmt nämlich mit dem, was hier c heisst, überein.

Allgemeinen besprochenen, und Th. I. S. 211 theilweis mitgetheilten, Augenmass- und Tastversuche unter.

Bei diesen Versuchen würde die Fehldistanz mit der Normaldistanz, welche hier den Werth P vertritt, im Durchschnitte der Versuche, und abgesehen vom constanten Fehler gleich gefunden werden, so dass man im Durchschnitte $D = 0$ zu setzen hat*). Die Abweichung, welche die mittlere Fehldistanz von der Normaldistanz zeigt, kommt ganz auf Rechnung des constanten Fehlers c, und stellt diesen selbst dar, welcher nun aber nach den Lagenverhältnissen der Normaldistanz und Fehldistanz gegen einander verschieden ausfällt, indem er sich verschieden aus p, q und nach Umständen noch einem dritten Werthe s zusammensetzt.

Soll eine gesonderte Bestimmung dieser Componenten des Gesammtfehlers c stattfinden, so müssen die Versuche mit strenger Sonderung und methodischem Wechsel entgegengesetzter Zeit- und Raumlage angestellt, und die dabei erhaltenen verschiedenen Werthe von c durch Rechnung in der gleich anzuzeigenden Weise combinirt werden.

Eine respectiv mit I und II zu bezeichnende entgegengesetzte Zeitlage, womit der Zeitfehler $+p$ und $-p$ als Componente des constanten Gesammtfehlers c in Beziehung zu setzen, geht bei Tastversuchen hervor, wenn man bei der Lage I jedesmal zuerst den Normalzirkel aufsetzt, dann den Fehlzirkel, und hienach die Abänderung des Fehlzirkels vornimmt, falls seine Spannweite als verschieden von der des Normalzirkels empfunden wird, bei der Lage II aber jedesmal zuerst den Fehlzirkel aufsetzt, dann den Normalzirkel, und hienach den Fehlzirkel abändert, falls der Normalzirkel dem vorher aufgesetzten Fehlzirkel nicht entsprechend erscheint. Dieses methodische Verfahren mit Sonderung der dabei erhaltenen Fälle habe ich bei meinen Tastversuchen im Allgemeinen eingehalten. Auch bei den Augenmassversuchen könnte man so verfahren, indem man, statt die Abänderung der Fehldistanz nach unregelmässigem Hin- und Herblicken vorzunehmen, wie es bei den bisherigen Versuchen immer geschehen ist, jedesmal bei I zuerst die Normaldistanz, bei II die Fehldistanz zuerst ins Auge fasste, und diese Fälle sonderte.

*) Das D der Augenmassversuche Th. I. S. 211 folg. ist, als die Normaldistanz bedeutend, nicht mit dem D dieses und des vorigen Kapitels zu verwechseln, sondern vergleicht sich vielmehr dem P.

Als entgegengesetzte Raumlage *R* und *L*, oder *O* und *U*, womit der Fehler $+q$ und $-q$ in Beziehung zu setzen, kann man einführen: bei Tastversuchen das Halten des Normalzirkels einmal in rechter, das anderemal in linker Hand, oder mit oberem und unterem Theile der Hand*), indess der Fehlzirkel jedesmal in der entgegengesetzten Weise gefasst wird; bei den Augenmassversuchen Lage der Normaldistanz rechts und links, oben und unten gegen die Fehldistanz, wovon erstes Verhältniss bei horizontaler, letztes bei verticaler Distanz in Betracht kommt.

Vielleicht zwar ist die verschiedene Haltungsweise der Zirkel bei Tastversuchen vielmehr als eine in räumlicher Hinsicht verschiedene Herstellungsweise als verschiedene Raumlage der verglichenen Grössen zu fassen; indess ändert diess nichts in der mathematischen Behandlung der davon abhängigen Fehler.

Gesetzt nun, wir haben in den 4 Hauptfällen, welche sich so bei unseren Versuchen ergeben,

I *L*, II *L*, I *R*, II *R*
oder
I *U*, II *U*, I *O*, II *O*

die vier constanten Fehler c_1, c_2, c_3, c_4 als Specialwerthe des Fehlers c gefunden, so haben wir, falls diese Fehler blos von p, q abhängen — ob es aber der Fall sei, wird sich aus der folgenden Behandlung selbst ergeben — die Gleichungen dafür wie S. 134 anzusetzen:

$$c_1 = +p + q; \; c_2 = -p + q;$$
$$c_3 = +p - q; \; c_4 = -p - q$$

und können nun (respectiv durch Addition oder Subtraction je zweier dieser Gleichungen von einander und Division mit 2) p und q, jeden beider Werthe auf 4fache Weise, wie folgt bestimmen:

---

*) Eine derartig verschiedene Haltung kommt in Rücksicht, wenn man beide Zirkel in derselben Hand fasst, um z. B. Versuche damit an der anderen Hand anzustellen. Des Näheren verstehe ich hiebei unter *O*, wenn man den Stiel des Normalzirkels zwischen Daumen und Zeigefinger (was ich den oberen Theil der Hand nenne), den des Fehlzirkels zwischen den übrigen drei Fingern und der Vola der Hand (was ich den unteren Theil der Hand nenne) fasst; unter *U*, wenn das umgekehrte Verhältniss der Fassung stattfindet.

$$\begin{array}{ccccccc} & (1) & & (2) & & (3) & & (4) \\ p = & \frac{c_1 - c_2}{2} & = & \frac{c_3 - c_4}{2} & = & \frac{c_1 + c_3}{2} & = - & \frac{c_2 + c_4}{2} \\ q = & \frac{c_1 - c_3}{2} & = & \frac{c_2 - c_3}{2} & = & \frac{c_1 + c_2}{2} & = - & \frac{c_3 + c_4}{2} \end{array}$$

Diese 4 Bestimmungsweisen dürfen nicht weiter von einander abweichen, als nach Wahrscheinlichkeit auf unausgeglichene Zufälligkeiten geschoben werden kann; wenn wirklich blos eine Abhängigkeit von p, q stattfindet, und die Versuche bei allen 4 Lagen vergleichbar geblieben sind. Wofern sich erheblichere Abweichungen zwischen jenen 4 Bestimmungsweisen zeigen, hat man entweder anzunehmen, dass eine hinreichende Vergleichbarkeit nicht stattgefunden hat, vielmehr bei gewissen Lagen die Zufälligkeiten einen anderen Spielraum oder der Zeit- und Raumeinfluss eine andere Grösse gehabt haben, als in anderen Lagen, oder dass ausser jenen constanten Einflüssen, wovon p, q abhängen, noch ein anderer eingewirkt hat, welcher sich dann, wie anzugeben, bestimmen lässt.

Dabei übersieht man leicht, dass das Mittel der Werthe (1) und (2) mit dem Mittel der Werthe (3) und (4) übereinkommt; so dass man, wo es nur auf mittlere Bestimmung von p, q ankommt, mit den Gleichungen (1) und (2) nur dasselbe erreicht, als mit den Gleichungen (3) und (4), so wie umgekehrt.

Wie S. 140 bemerkt, kommt nun bei der Methode der mittleren Fehler mitunter noch ein constanter Fehler in Anschlag, welcher daraus hervorgeht, dass blos die Fehlgrösse, auf welche wir den constanten Fehler beziehen, aber nicht die Normalgrösse der Abänderung unterworfen wird. Dieser Fehler, welcher s heisse, behält bei entgegengesetzter Zeit- und Raumlage der Fehlergrösse denselben Werth und dasselbe Vorzeichen. Obschon ich ihn nicht immer von erheblicher Grösse gefunden habe, ist doch, wo man sich überhaupt auf eine Analyse der constanten Fehler einlässt, in jedem Falle zu untersuchen, ob er einen solchen hat, und mit Rücksicht hierauf die Gleichungen für den constanten Fehler bei der Methode der mittleren Fehler allgemeiner so zu stellen:

$$c_1 = p + q + s; \quad c_2 = -p + q + s;$$
$$c_3 = p - q + s; \quad c_4 = -p - q + s.$$

Diess giebt:

$$\begin{array}{ccccc} & & (1) & & (2) \\ p & = & \frac{c_1 - c_2}{2} & = & \frac{c_3 - c_4}{2} \\ q & = & \frac{c_1 - c_3}{2} & = & \frac{c_2 - c_4}{2} \\ s & = & \frac{c_1 + c_4}{2} & = & \frac{c_1 + c_2}{2} \end{array}$$

Es bleiben also in diesem Falle blos zwei Gleichungen für die Bestimmung jeder Componente übrig, welche hinreichend einstimmige Werthe geben müssen, wenn die Annahme dieser Abhängigkeitsverhältnisse genügen soll, oder hinreichende Vergleichbarkeit der Versuche stattgefunden hat.

Zur Unterscheidung der beiden Werthe von p, q, s, die man nach (1) und (2) erhält, können dieselben durch die entsprechenden Indices, als p_1, p_2 etc. unterschieden und für ihr Mittel oder nach Umständen ihre Summe der Buchstabe ohne Index gebraucht werden.

Allgemeine Bemerkung verdient nun, dass, wenn die Werthe p_1, p_2 gut unter einander stimmen, diess auch nothwendig mit den Werthen q_1, q_2 und s_1, s_2 der Fall ist, wie umgekehrt, und eben so hängt die Nichtzusammenstimmung der Doppelwerthe aller dreier solidarisch zusammen. Die nahe Zusammenstimmung kleiner Doppelwerthe muss aber nicht darin gesucht werden, dass ihr Verhältniss nahe das der Einheit ist, sondern dass beide wenig von 0 abweichen; indem, wenn ein constanter Fehler p, q oder s sehr klein gegen einen der anderen oder die zwei anderen ist, er nur eben in so weit sicher bestimmbar ist, dass seine geringe Grösse überhaupt hervortritt.

Die Werthe der constanten Fehlercomponenten p, q, s, welche man aus obigen Gleichungen erhält, bleiben überhaupt durch Zufälligkeiten um so mehr afficirt, je weniger durch Zahl und Vergleichbarkeit der Versuche deren Ausgleichung bewirkt ist.

Wo ein Fehler p, q oder s der Natur der Sache nach nicht besteht, findet er sich daher wegen solcher unausgeglichenen Zufälligkeiten doch im Allgemeinen nicht null durch obige Gleichungen, aber so klein, dass sein durch diese Gleichungen ausgeworfener Werth nach Wahrscheinlichkeit eben nur auf Zufälligkeiten geschoben oder als ganz unsicher angesehen werden muss. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung giebt Regeln zu einer genaueren Beur-

theilung in dieser Beziehung, auf die jedoch hier nicht näher eingegangen werden kann.

Bei nicht wenigen meiner Tastversuche mit Selbstapplication der Zirkel habe ich nicht nur die Doppelwerthe von p, q, sondern auch von s so gross und übereinstimmend erhalten, dass an der Existenz sämmtlicher drei Fehler unter den Umständen dieser Versuche nicht zu zweifeln, indess unter anderen Umständen der eine oder andere Fehler zweideutig blieb. Näheres darüber in den »Massmethoden.« Die Augenmassversuche sind bisher nicht so angestellt worden, um eine vollständige Analyse der constanten Fehler zu gestatten, sondern blos so, dass sich der Raumfehler besonders herausstellte, indem der constante Fehler in einen von der Raumlage abhängigen und einen davon unabhängigen, dessen Zusammensetzungsweise unbekannt blieb, zerlegt ward.

Wenn man nämlich keine vollständige Analyse der constanten Fehler beabsichtigt, sondern nur die eine oder andere Componente derselben, z. B. die von der Raumlage abhängige q, bestimmen will, so reicht es hin, Versuche bei verwechselter Raumlage anzustellen, indess die Zeitlage und Herstellungsweise der verglichenen Grössen durchschnittlich dieselbe bleibt. Dann erhält man blos zwei constante Fehler c_1, c_2, für die man die Gleichungen so ansetzt:

$$c_1 = q + C$$
$$c_2 = -q + C$$

woraus sich ergiebt

$$q = \frac{c_1 - c_2}{2}$$
$$C = \frac{c_1 + c_2}{2}$$

Hierin ist q die von der Raumlage abhängige, C die von der Raumlage unabhängige, möglicherweise noch zusammengesetzte Componente der constanten Fehler.

Wenn die Versuche mit hinreichenden Abänderungen angestellt werden, so können p und q dem Versuche einer noch weiteren Analyse unterworfen werden. So kann man bei Versuchen mit abgeänderten Hauptgrössen untersuchen, ob sich p oder q in einen dabei constanten und einen nach irgend einer Function von den Hauptgrössen abhängigen Theil zerlegen lassen. Bei einer Tastversuchsreihe variirte ich die Fassung der Zirkel absichtlich so, dass ich einmal den Normalzirkel immer am Stiele, den Fehlzirkel

an den Schenkeln, das anderemal immer umgekehrt fasste, und den Erfolg dieser Lagen mit dem verglich, wo beide Zirkel immer am Stiele, und wo beide immer an den Schenkeln gefasst werden, u. s. f. Alle diese Abänderungen hatten Einfluss auf die constanten Fehler. Specielleres darüber aber muss ich auf die »Massmethoden« versparen.

Während die constanten Fehler, die wir bei Ausführung der Massmethoden der Unterschiedsempfindlichkeiten erhalten, in angezeigter Weise zum Vergleiche der absoluten Empfindlichkeiten dienen können, insoweit der absolute Grund gültig ist, führen diese Methoden in früher angezeigter Weise durch Elimination der constanten Fehler zum Masse der Unterschiedsempfindlichkeit, wie sie unabhängig vom Lagenwechsel der Reize besteht. Wir bringen nämlich dabei entweder den Werth D auf einen Punct, dass D dem unabhängig vom constanten Fehler bestehenden eben merklichen Unterschiede d gleich wird, was die Methode der eben merklichen Unterschiede ist, oder wir bestimmen im mittleren Fehler ε der Methode der mittleren Fehler einen Werth, welcher mit d in directer Proportion steht, oder im Werthe $t = hD$ der Methode der richtigen und falschen Fälle einen Werth, welcher mit d in reciprokem Verhältnisse steht, sofern h als der Unterschiedsempfindlichkeit direct proportional mit d umgekehrt proportional ist. Dabei ist in Rücksicht zu ziehen, dass d je nach dem Spielraume der Zufälligkeiten grösser oder kleiner ausfällt, wenn schon nicht allein hievon abhängt, ausgenommen beim idealen Maximum der Unterschiedsempfindlichkeit, so dass, wie mehrfach erinnert, die Masse der Unterschiedsempfindlichkeit nur insofern vergleichbar sind, als sie einen gleichen Spielraum der Zufälligkeiten voraussetzen.

XXIX. Beziehung zwischen Contrastempfindungen und Empfindungssummen.

Unsere Seele wird eben so sehr durch empfundene Unterschiede, Contrastempfindungen, als absolute Empfindungen, bestimmt.

Die Contrastempfindung ist als Empfindung eines Unterschiedes eine Empfindung *sui generis*, welche, ohne irgendwie selbst als Summe oder als Function einer Summe absoluter Em-

pfindungen erklärbar zu sein, zur Empfindungssumme, welche die Componenten des Unterschiedes gewähren, hinzutritt, und hiemit den Totaleffect für die Seele steigert.

Die absolute Empfindung ist, nach der Massformel, der Unterschied zwischen absoluten Empfindungen, kurz Empfindungsunterschied, nach der Unterschiedsformel, der besonders aufgefasste Empfindungsunterschied, kurz empfundene Unterschied, die Contrastempfindung, nach der Unterschiedsmassformel und deren Verallgemeinerungen, den Lagenformeln, zu beurtheilen, und die hienach bestimmte Contrastwirkung zu der nach der Massformel und darauf gestützten Summenformel (Kap. XX) bestimmten Summenwirkung zu fügen, um die psychische Gesammtwirkung zu haben.

Diess so zu fassen, werden wir durch die Thatsache genöthigt, dass überall, wo die Gleichförmigkeit eines Reizes stellenweise oder zeitweise durch eine Verminderung, Cessation, Intermission desselben unterbrochen wird, die Seele sich stärker erregt findet, als wenn der Reiz gleichförmig sich durch Raum oder Zeit forterstreckte. Da nun doch durch die stellen- oder zeitweise Verminderung oder Cessation des Reizes die Summe der davon abhängigen absoluten Empfindungen gegen den Fall abnimmt, dass der Reiz continuirlich fortwirkte, so muss die verstärkte Wirkung in der Seele auf einer Wirkung des Contrastes beruhen, welche nicht mit der Summenwirkung der Reize zusammenfällt oder darin aufgeht.

Die Rücksicht auf die hebende Wirkung des Contrastes (S. 106) ändert nichts in dieser Hinsicht; weil durch sie die Summe absoluter Empfindungen im Ganzen keinen Zuwachs erfährt. Wenn das Weiss durch Contrast mit Schwarz an Helligkeit wächst, so nimmt das Schwarz hingegen zugleich an Helligkeit ab, ja ich werde künftig*) erfahrungsmässig darthun und erklären, dass und warum die Vertiefung des Schwarz durch die Contrastwirkung im Allgemeinen spürbarer ist, als die Erhellung des Weiss. Insofern also eine Hebung der Eindrücke durch den Contrast stattfindet, verstärkt sich hiedurch nur die Empfindung des Unterschiedes,

---

*) Entweder noch in einem späteren Kapitel oder in einer Abhandlung der sächs. Societätsschriften, da meine Beobachtungen in dieser Hinsicht noch nicht redigirt sind.

die zur Summenwirkung zu fügen ist, wird aber nicht hiedurch erst begründet, und die Summe absoluter Empfindungen gewinnt nichts dadurch.

Thatsachen zur Erläuterung und zum Belege des Vorstehenden bietet das gewöhnliche Leben in Menge dar.

Wenn man einmal eine ganz weisse Papierfläche, das anderemal eine solche mit einer schwarzen Scheibe inmitten in das Auge fasst, so ist die Summe der absoluten Lichteindrücke wie Lichtempfindungen zweitenfalls kleiner als erstenfalls; aber die Seele findet sich vermöge des zutretenden Contrastes zweitenfalls stärker als erstenfalls afficirt; um so mehr, wenn man gar ein Papier mit mehrfachen Abwechselungen von Weiss und Schwarz, wie z. B. ein Schachbretmuster, betrachtet, wenn schon die Summe der absoluten Lichteindrücke hier noch mehr vermindert ist, da sich dafür die Contrastwirkung vervielfacht.

Auf mein sehr empfindliches Auge machen einzelne helle Sonnenflecke in der Stube einen so starken Eindruck, dass ich sie nicht wohl vertrage, aber ich kann im vollen Sonnenscheine auf der Strasse und selbst durch Schnee gehen oder in den hellen Himmel sehen, ohne es lästig zu fühlen; ungeachtet doch hiebei die ganze Netzhaut mit derselben oder grösseren Intensität gereizt ist, als erstenfalls eine begränzte Stelle.

Eine plötzliche Pause in einer rauschenden Musik oder ein plötzlicher Paukenschlag nach einer Pause macht einen Eindruck, der nicht blos als Summe der Eindrücke der Componenten zu erklären ist, da vielmehr erstenfalls die Wirkung der einen Componente abgebrochen wird, letztenfalls der Eindruck im Momente des eintretenden Schlages unvergleichlich stärker, als in jedem Momente des fortgehenden Paukenwirbels ist. Nun könnte man zwar letzteres daraus erklären, dass der erste Paukenschlag einer frischen Empfindlichkeit begegnet, die sich bei fortgesetztem Wirbel mehr und mehr abstumpft; und unstreitig hängt auch hieran etwas; aber derselbe Umstand kann erstenfalls nicht geltend gemacht werden, und bedingt daher auch unstreitig zweitenfalls nicht den Haupteffect.

Manche scheinbare Anomalieen erklären sich durch die doppelte Bestimmungsweise der Seele respectiv durch absolute und Contrasteindrücke.

Schwarz ist eine positive Empfindung, wie früher (Th. I.

S. 165 f.) gezeigt, doch empfinden wir es wie einen Mangel. Tiefes Schwarz ist eine viel schwächere Lichtempfindung als Grau, und macht doch einen stärkeren Eindruck in der Seele als Grau. Wie reimt sich dieses? Man unterscheide die absolute Lichtempfindung des Schwarz von der Contrastempfindung seines Unterschiedes gegen die vorausgegangene, die umgebende oder die mittlere Helligkeit, die wir in Erinnerung haben. Absolut genommen bleibt immer Schwarz eine positive Lichtempfindung, und wir werden das auch zugestehen, wenn wir es gegen das Nichtssehen des Fingers halten; und eine schwächere Lichtempfindung als Grau, was wir nicht minder zugestehen werden. Aber der Unterschied des Schwarz von der mittleren Helligkeit ist grösser, als der des Grau, was sogar ganz damit zusammenfallen kann; und diese grössere Differenz macht einen grösseren Eindruck ihrer Art in der Seele.

Mit der Kälte ist es anders als mit dem Schwarz, und es findet nur Analogie, nicht Gleichheit beider Fälle statt. Indess die absolute Stärke der Lichtempfindung mit Verminderung des Lichtreizes entschieden durch alle Grade der Vertiefung des Schwarz abnimmt, und blos der Contrasteindruck sich verstärkt, wächst dagegen die Empfindung von einem Puncte, wo wir es weder warm noch kalt finden, absolut mit zunehmender Kälte; und es kann uns starke Kälte eben so stark, nur ganz anders sinnlich afficiren, als starke Hitze. Diess hindert aber nicht, dass sich im Gebiete der Temperaturempfindungen eben so wohl auch Contrasteindrücke von demselben Charakter geltend machen, als im Gebiete der Lichtempfindung. Und so kann uns eine warme Temperatur kühl gegen eine wärmere und eine kalte warm gegen eine kältere erscheinen.

Für den ersten Anblick scheint es, dass das Princip, die nach der Unterschiedsmassformel oder Lagenformel berechnete Contrastempfindung zu der Summe der nach der Massformel berechneten absoluten Empfindungen zu fügen, um die Totalwirkung der Reize zu haben, der Erfahrung nicht genügt, sofern sich die Thatsache danach nicht folgern lässt, dass man durch Contrast zwischen einem stärkeren und schwächeren Reize eine stärkere psychische Gesammtleistung erzielen kann, als wenn beide Reize dem stärkeren gleich wären. Denn die auf die Massformel gegründete Summenformel giebt für zwei Reize β, β' mit den Schwellenwerthen b, b' die Empfindungssumme

$$k \log \frac{\beta\beta'}{bb'}$$

Die Unterschiedsmassformel oder Lagenformel giebt für den empfundenen Unterschied

$$k \log \frac{\beta}{v\beta'}$$

unter Stellung des grösseren Reizes in den Zähler*), wobei v stets grösser als 1 ist, so lange wir mit keinen verkehrten Empfindungen (S. 124) zu thun haben. Addiren wir nun beide Ausdrücke, so erhalten wir

$$k\left(\log \frac{\beta\beta'}{bb'} + \log \frac{\beta}{v\beta'}\right) = k \log \frac{\beta\beta}{vbb'}$$

wogegen der Werth, welchen man durch die blosse Summenformel für den Fall erhält, dass beide Reize dem grösseren β gleich sind, ist

$$k \log \frac{\beta\beta}{bb'}$$

Dieser Werth aber ist grösser als $k \log \frac{\beta\beta}{vbb'}$, sofern v grösser als 1 ist.

Nun ist das Princip, beide betreffende Masse einfach durch Addition zu verbinden, um die psychische Gesammtleistung von Summen- und Contrastwirkung zu erhalten, an sich nicht so evident, dass nicht eine andere functionelle Verbindungsweise angenommen werden könnte, falls solche der Erfahrung besser genügte; aber wir werden nicht nöthig haben, auf fernliegende Voraussetzungen in dieser Hinsicht einzugehen, da eine einfache, ganz nahe liegende Voraussetzung hinreicht, die vermisste Uebereinstimmung mit der Erfahrung herzustellen; nämlich dass die Contrastwirkung nicht einfach zwischen beiden Reizen, sondern herüber und hinüber zu berechnen ist, da sie in der That herüber und hinüber besteht**), sich also für zwei Reize nicht minder aus zwei Gliedern zusammensetzt, als die Summenwirkung.

Diess vorausgesetzt, hat man, insoweit die Empfindung von der Summe abhängt

---

*) Das Resultat ändert sich nicht, wenn man den kleinen Reiz in den Zähler stellt, und dann den empfundenen Unterschied durch $k \log \frac{v'}{\varphi'}$ im Sinne von S. 98 ausdrückt, sofern $\frac{v'}{\varphi'} = \frac{\varphi}{v}$.

**) So kann man sich auch bei der Gravitation des Quadrat des Abstandes, was in das Gesetz eingeht, dadurch entstanden denken, dass man den Abstand herüber und hinüber in Betracht zieht.

$$k\left(\log\frac{\beta}{b}+\log\frac{\beta'}{b'}\right)=k\log\frac{\beta\beta'}{bb'}$$

insoweit sie vom empfundenen Unterschiede abhängt

$$k\left(\log\frac{\beta}{v\beta'}+\log\frac{\beta}{v\beta'}\right)=k\log\frac{\beta\beta}{v^2\beta'\beta'}$$

mithin im Ganzen

$$k\log\left(\frac{1}{v^2}\,\frac{\beta\beta\beta}{bb'\beta'}\right)=k\left(\log\frac{\beta\beta}{bb'}+\log\frac{\beta}{v^2\beta'}\right)$$

Das heisst, die totale psychische Leistung, die durch den Zutritt des Contrastes zur Summenwirkung erzielt wird, ist um $k\log\frac{\beta}{v^2\beta'}$ stärker, als die, welche man durch die blosse Summenformel für den Fall erhält, dass beide Reize dem stärkeren β gleich sind.

Es wird nützlich sein, zu bemerken, dass wir dadurch, dass wir hier den empfundenen Unterschied $u=k\log\frac{\beta\beta}{v^2\beta'\beta'}=k\log\left(\frac{\beta}{v\beta'}\right)^2$ setzen, indess wir in dem Kapitel über die Unterschiedsmassformel und Lagenformeln $u=k\log\frac{\beta}{v\beta'}$ setzten, nichts Widersprechendes setzen, indem wir den früheren Werth $k\log\frac{\beta}{v\beta'}$ eben nur als den einseitig aufgefassten Unterschied anzusehen, oder dem k jener Formeln den doppelten Werth als dem k der Massformel beizulegen nöthig haben. In der That unterscheiden sich die Ausdrücke $k\log\frac{\beta}{v\beta'}$ und $k\log\left(\frac{\beta}{v\beta'}\right)^2$ nur dadurch, dass der eine Ausdruck das Doppelte des anderen ist, da $k\log\left(\frac{\beta}{v\beta'}\right)^2=2\,k\log\frac{\beta}{v\beta'}$ ist, wonach es ganz gleichgültig ist, ob wir den einen oder anderen verwenden, so lange wir blos mit dem Vergleiche empfundener Unterschiede unter einander zu thun haben, ohne sie in Bezug zur Summenwirkung zu betrachten, da sich die Verhältnisse der empfundenen Unterschiede nicht ändern, mögen wir sie durch den einen oder anderen Ausdruck messen. Eben desshalb liess sich auch bei unserer Aufstellung der Unterschiedsmassformel und Lagenformeln kein Bestimmungsgrund finden, die zweiseitige von der einseitigen Auffassung des Contrastes vorzuziehen. Ein solcher liegt nun aber in der angeführten Thatsache, welche die Verbindung der Summen- und Contrastwirkung betrifft, und es ist daher dieser Thatsache eine fundamentale Bedeutung beizulegen.

So wie Empfindungen über der Schwelle und unter der Schwelle nach früherer Auseinandersetzung nicht zu addiren, sondern besonders in Betracht zu nehmen sind, sofern sie als besondere bestehen, kann man auch in dem Falle, wo der empfundene Unterschied unter die Schwelle fällt, sei es, dass v zu gross oder $\frac{\beta}{\beta'}$ zu klein wird, von der Combinationsformel der Summen- und Contrastempfindung keinen Gebrauch mehr machen, sondern, wo ein solcher Fall eintritt, bedeutet es, dass der jetzt nicht empfundene Unterschied nichts zum Bewusstseinszustande mehr beiträgt, und es bleibt $k \log \frac{\beta\beta'}{bb'}$ allein noch übrig, die positive Empfindung zu repräsentiren.

Eine Folge davon ist, dass, wenn ein Reiz sich continuirlich in Raum oder Zeit ändert, die Contrastwirkung zwischen einander nahen Puncten vernachlässigt werden kann, und dass die Totalwirkung sich da, wo die Aenderung nicht zu rasch erfolgt, überhaupt auf die Summenwirkung reducirt, indem sie dann auch zwischen fernen Puncten zu vernachlässigen ist, was von Wichtigkeit ist, wenn man den Versuch macht, Empfindungen als Function elementarer Bewegungen oder Aenderungen mittelst der S. 30 gegebenen Formeln zu construiren.

Wenn wir früher das Resultat erhielten, dass ein Reiz bei gleichförmigster Vertheilung über der Schwelle das Maximum der Empfindungs*summe* gewährt, so geht aus Vorigem hervor, dass er damit doch nicht das Maximum der Empfindungs*leistung* gewährt, sofern bei so ungleichförmiger Vertheilung, dass ein Contrast sich geltend machen kann, der Contrast eine neue Empfindungsleistung zur Empfindungssumme fügt.

Wir haben im Vorigen die Betrachtung auf den einfachsten Fall beschränkt, dass man mit blos zwei unterschiedenen Reizen zu thun hat, was genügte, die Verhältnisse im Allgemeinen übersehen zu lassen, welche für die Verbindung der Contrastwirkung mit der Summenwirkung gelten. Eine weitere Frage ist, wie die Verhältnisse der Gesammtwirkung da zu beurtheilen sind, wo sich Contrastwirkungen zwischen mehr als zwei Reizen geltend machen; wo es also gilt, ausser den absoluten Empfindungen auch Contrastempfindungen zu summiren. Da es hier z. B. bei drei Reizen β, β', β'' nicht blos den Contrast von $\beta:\beta'$ und $\beta':\beta''$, sondern auch von $\beta:\beta''$ gilt, und bei n Reizen überhaupt die Zahl der sol-

chergestalt in Betracht zu ziehenden Verhältnisse $n(n-1)$ ist, falls wir jedes Verhältniss herüber und hinüber, also doppelt, rechnen (sonst halb so gross), so fragt sich, wie die Summation hiebei zu bewirken ist. Hiefür liegt mir bis jetzt kein ganz evidentes Princip vor; doch vermuthe ich, das folgende werde massgebend sein, da es rationell und mit der Erfahrung verträglich scheint.

Da keines jener Verhältnisse vor dem anderen einen anderen Vorrang betreffs der Empfindung hat, als der durch die Verhältnissschwelle gegeben ist, so wird man zuvörderst alle empfundenen Unterschiede zu summiren haben, die den $n(n-1)$ Verhältnissen einzeln zugehören. Diese Summe werde durch Σ ausgedrückt. Nun sind aber nur n Zeit- oder Raumpuncte vorhanden, auf welche die Empfindung fällt, oder welche zur Empfindung beitragen; mithin wird jene Summe im Verhältnisse $\frac{n}{n(n-1)}$ zu reduciren sein, d. i. mit $n-1$ zu dividiren sein; mithin den Werth haben $\frac{\Sigma}{n-1}$. Führen wir diess für drei Reize, β, β', β'', nach absteigender Ordnung der Grösse genommen, aus, und geben k den doppelten Werth gegen das k der Massformel, um jedes Verhältniss blos einfach einzuführen, so haben wir

$$\frac{\Sigma}{2} = \frac{k}{2}\left(\log\frac{\beta}{v_{,}\beta'} + \log\frac{\beta'}{v'_{,,}\beta''} + \log\frac{\beta}{v_{,,}\beta''}\right)$$

wenn $v_{,}$, $v'_{,,}$, $v_{,,}$ die den drei Verhältnissen zugehörigen Verhältnissschwellen sind, deren Indices den Indices der Reize, wofür sie gelten, entsprechend genommen sind. Diese Schwellen können unter Umständen gleich 1 gesetzt, und unter Umständen als gleich angenommen werden, so bei drei Lichtern, die auf einem gleichförmigen Grunde die Spitzen eines gleichseitigen Dreiecks bilden. Im allgemeinen Falle aber sind $v_{,}$, $v'_{,,}$, $v_{,,}$ als verschieden von 1 und von einander anzunehmen. Gleichviel, welche Werthe sie haben, so geht durch Verwandlung der Summe der Logarithmen in den Logarithmus des Productes obiger Ausdruck über in

$$\frac{\Sigma}{2} = \frac{k}{2}\log\frac{\beta\beta}{v_{,}v'_{,,}v_{,,}\beta''\beta''} = k\left[\log\frac{\beta}{\beta''} - \log(v_{,}v'_{,,}v_{,,})^{\frac{1}{2}}\right]$$

Nun wäre ohne Zufügung des mittleren Reizes β' der empfundene Unterschied gewesen

$$k\left(\log\frac{\beta}{\beta''} - \log v_{,,}\right)$$

was in dem Falle, dass $v_{,}v'_{,,} = v_{,,}$, mit dem obigen Ausdrucke übereinkommt; wonach bei drei Reizen, deren Verhältnissschwel-

len diess Verhältniss haben, die Contrastsumme eben so gross wäre, als bei zweien ohne Zufügung des mittleren. Wo hingegen alle drei Schwellen gleich sind, wozu es, wie oben bemerkt, Beispiele giebt, ist die Contrastsumme bei drei Reizen kleiner, als zwischen den zwei extremen für sich.

Geht man zu 4 Reizen über, nennt sie nach absteigender Ordnung der Grösse β, β', β'', β''', und das Product der 6 Schwellen, die hier in Betracht kommen, ω, so verschwinden die mittleren Reize nicht mehr aus dem Ausdrucke der Contrastsumme und wir erhalten dafür

$$\frac{k}{3}\left(\log \frac{\beta\beta\beta\beta'}{\beta''\beta'''\beta'''\beta'''} - \log \omega\right) = k\left(\log \frac{\beta}{\beta'''} + \frac{1}{3}\log \frac{\beta'}{\omega\beta''}\right)$$

Bei etwa versuchter Anwendung dieser Formeln ist in Rücksicht zu ziehen, dass man, wo es sich z. B. um die Contrastsumme handelt, welche Sterne am Himmel gewähren, nicht blos den Contrast der Sterne gegen einander, sondern auch vom schwarzen Himmelsgrunde in Betracht zu ziehen hat, der hiebei unstreitig die Hauptwirkung gewährt.

Wenn Lichtpuncte zu Lichtflächen zusammenfliessen, so mindert sich nothwendig ihre Contrastsumme gegen den Grund, weil die stärkste Contrastwirkung, mithin kleinste Verhältnissschwelle, unstreitig zwischen jedem Lichtpuncte und dem nächsten Theile des schwarzen Grundes besteht, welcher aber für die im Innern einer Lichtfläche liegenden Puncte durch gleiche Lichtpuncte ersetzt sind. Ueberhaupt muss hienach die Vertheilungsweise der contrastirenden Reize gegen einander grossen Einfluss auf die Contrastsumme gewinnen.

Auf weitere Ausführungen und Rechnungen will ich jedoch hier nicht eingehen, da zuzugestehen bleibt, dass das hier zu Grunde gelegte Rechnungsprincip weder *a priori*, noch durch Erfahrung bis jetzt hinreichend sicher gestellt ist.

Nicht ohne Interesse ist, dass der Himmel, der uns schon früher die schönsten und einfachsten Belege zu den Fundamentalthatsachen und Gesetzen der Psychophysik geliefert hat, auch das schönste und einfachste Beispiel sowohl für eine Summen- als Contrastwirkung liefert. In der That werden wir keine reinere zugleich und erhabenere Summenwirkung der Empfindung ohne Contrast erhalten können, als durch einen rein blauen Tageshimmel, und keine einfachere und erhabenere Contrastwirkung, als durch

einen sternenhellen Nachthimmel. Dazu giebt der Wechsel von Wolken, Morgen- und Abendröthe auch einen unerschöpflichen Wechsel von Contrasten, die sich in der Zeit entwickeln.

XXX. Frage nach Empfindungsproducten. Beziehung zwischen Höhe, Stärke und periodischem Element in der Tonskala.

Wir haben Empfindungs*summen* und Empfindungs*unterschiede* in Betracht zu ziehen Anlass gefunden; es entsteht die Frage, ob nicht auch dem Begriffe eines Empfindungs*productes* Bedeutung beizulegen sei.

Verständigen wir uns aber zuvor über den Begriff eines Productes und nehmen, um uns nicht in unklare Abstractionen zu verlieren, zum Anhalt ein bestimmtes Beispiel der Geometrie.

Wenn wir ein Rechteck haben, dessen eine Seite 2, die andere 4 lang ist, diese Zahlen bezogen auf irgend eine Lineareinheit, so giebt das Product zwar nicht beider Seiten, denn ein solches giebt es nicht*); aber der Zahlen, wodurch ihre Länge gemessen wird, das Mass des Rechteckes bezüglich einer Flächeneinheit, welche mit der Lineareinheit in Beziehung steht.

Wenn man das Rechteck nach der Richtung einer Seite allein verlängert oder verkürzt, indess man die andere constant lässt, so fallen die verhältnissmässigen Grössenänderungen des ganzen Rechteckes mit denen der Seite, in deren Richtung die Aenderung geschieht, zusammen, und da man in Wirklichkeit mit keinen absolut einfachen Linien operiren kann, so wird das, was man ideal von Linearverhältnissen aussagt, in Wirklichkeit doch nur an Rechtecken, Cylindern u. dgl. von constanter Dicke nachzuweisen sein.

Nun fragt sich, ob auch einer Empfindung zwei in verschiedenem Sinne quantitativ bestimmbare Seiten oder Dimensionen zugeschrieben werden können, nach deren jeder sie für sich unabhängig von der anderen der Steigerung und Verminderung fähig ist, nach deren jeder sie durch eine der betreffenden Dimension homologe Einheit gemessen werden kann, und ob das Empfin-

*) Wenigstens nicht nach der Convention des *strengen* mathematischen Sprachgebrauches; obwohl es nur eine Sache der Definition ist, Product zweier Seiten den Flächenraum zu nennen, der zum Masse das Product der Masszahlen beider Seiten hat, wie denn diess auch oft genug geschieht.

dungsresultat, was beide Seiten im Zusammentreffen geben, sein Mass eben so im Producte der Masszahlen finden kann, die beiden Seiten insbesondere zugehören, als das Rechteck im Producte der Masszahlen seiner Seiten.

Zu Gunsten einer solchen Auffassung scheinen sich namentlich Stärke und Höhe eines Tones als Seiten desselben darzubieten. Und ich will zunächst das anführen, was sich in diesem Sinne geltend machen lässt.

Sowohl Stärke als Höhe unterliegt dem Masse durch unsere Massformel insbesondere. Nun macht allerdings die qualitative Verschiedenheit von Stärke und Höhe nöthig, jede auf eine Einheit ihrer Art zu beziehen, und diess begründet einen Unterschied vom geometrischen Producte, wo für beide auf einander senkrechte Seiten die gleiche Lineareinheit zu Grunde liegt. Aber da nicht die verschiedenen Qualitäten, sondern nur die darauf bezogenen abstracten Masszahlen zu multipliciren sind, scheint mir darin um so weniger ein principielles Hinderniss zu liegen, als man durch die verschiedene Qualität von Stärke und Höhe des Schalles die verschiedene Richtung der Seiten eines Rechteckes vertreten halten kann. Ist die Einheit für beide Seiten der Empfindung einmal willkührlich gewählt, so wird jedenfalls nichts hindern, die darauf bezogenen Masszahlen eben so mit einander zu multipliciren, und die verschiedenen so gewonnenen Producte mit einander zu vergleichen, als wenn man die Masszahlen zweier auf einander rechtwinkligen Seiten multiplicirt.

Die wesentliche, die Hauptfrage ist nur, ob auch beide Seiten wirklich ein derartiges gemeinsames Empfindungsresultat geben, dass das Mass durch das Product der Masszahlen der Seiten etwas bedeutet und dem Zusammenhange der Thatsachen entspricht. Ist diess der Fall, so kann kein mathematisches Bedenken mehr stattfinden.

In der That scheint sich hiefür Manches anführen zu lassen.

Es ist gewiss, dass der Totaleindruck eines hohen Tones durch seine Stärke vergrössert wird, und der Totaleindruck eines starken Tones in gewissem Sinne durch seine Höhe erhöht wird. Der Ton wird so zu sagen um so einschneidender, je höher er wird*). Auch verdient der Umstand Beachtung, dass es bekannt-

---

*) Hiebei erinnere ich gelegentlich an Versuche von Desprez (Pogg.

lich schwer ist, von der Gleichheit der Stärke verschiedener Töne bei verschiedener Höhe zu urtheilen, indem das Urtheil zwischen dem Masse des Gesammteindruckes und dem reinen Masse der Stärke zu schwanken scheint.

Also scheint wirklich im Gesammteindrucke eines Tones etwas Messbares vorzuliegen, dessen Mass durch das Zusammenwirken beider Seiten, Stärke und Höhe, bestimmt wird.

Zur bestimmteren Unterscheidung nun bezeichnen wir folgends stets die Grösse des Eindruckes, insofern sie blos von Amplitude der Schwingungen abhängt, als Stärke, die Grösse desselben, sofern sie blos von Schwingungsdauer oder Schwingungszahl abhängt, als Höhe, die Grösse des Eindruckes aber, sofern sie von beiden zugleich abhängt, als Intensität oder als Grösse des Gesammteindruckes.

Gesetzt hienach, die Masse der empfundenen Schallstärke und Schallhöhe s und h seien für sich genommen respectiv

$$s = k \log \frac{\beta}{b}$$

$$h = k' \log \frac{n}{n_1} = k' \log \frac{\tau_1}{\tau}$$

wo β die von der Amplitude abhängige physische Schallstärke, n die Schwingungszahl, τ die Schwingungsdauer, b, n_1, τ_1 die zugehörigen Schwellenwerthe, k, k' Constanten bedeuten, so würde das Mass der Intensität oder des Gesammteindruckes nach voriger Auffassung sein

$$sh = kk' \log \frac{\beta}{b} \log \frac{n}{n_1}$$

oder, wenn wir die Schwellenwerthe 1 setzen

$$sh = kk' \log \beta \log n$$

welcher Ausdruck sich nach Analogie dann auch auf Farben erstrecken könnte.

Sofern wir die physische Stärke eines Lichtes oder Schalles durch das Quadrat der Amplitude als gemessen ansehen, welche a heisse, wird sich a^2 für β in vorigen Gleichungen substituiren lassen, und, da $\log a^2 = 2 \log a$, der vorige Ausdruck übergehen in $2\,kk' \log a \log n$, oder, indem wir auch $2\,kk'$ durch Wahl demgemässer Einheiten gleich 1 annehmen, einfacher in $\log a \log n$.

Ann. LXV. 445), welche beweisen, einen wie starken und sogar lästigen Eindruck die noch höchsten vernehmbaren Töne sehr kurzer Stimmgabeln machen können.

Jedoch halte ich die vorige Auffassung nicht nur nicht für bindend, sondern für nicht triftig, und nach alsbald zu erörternden Gründen als Mass des psychischen Gesammteindruckes oder der Intensität eines einfachen Tones statt der Form $2\,kk' \log \frac{a}{a_1} \log \frac{n}{n_1}$ die Form $k \log \frac{L}{l}$ für triftiger, wenn unter L die, von Amplitude und Schwingungszahl oder Schwingungsdauer zugleich abhängige, lebendige Kraft der Schwingungen und unter l deren Schwellenwerth verstanden wird. Für Farben machen sich besondere Betrachtungen geltend, auf die ich unten komme.

Nun kann L als gemessen angesehen werden durch das Quadrat des Productes an oder des Quotienten $\frac{a}{\tau}$, wozu die Schwellenwerthe $a_1 n_1$ und $\frac{a_1}{\tau_1}$ seien; wonach der Ausdruck für das Mass der psychischen Gesammtstärke des Eindruckes, den ein einfacher Ton erzeugt, wäre

$$k \log \left(\frac{an}{a_1 n_1}\right)^2 = 2\,k \log \frac{an}{a_1 n_1} = 2\,k \log \frac{a}{a_1}\,\frac{\tau_1}{\tau}$$

oder unter Wahl solcher Einheiten, wodurch $2k$, a_1, n_1, τ_1 gleich 1 werden

$$\log an = \log a + \log n$$

oder

$$\log \frac{a}{\tau} = \log a - \log \tau.$$

So würde statt des vorhin erhaltenen Productes der Logarithmen der Werthe, a, n, der Logarithmus des Productes dieser Werthe, oder, was dasselbe ist, die Summe der Logarithmen dieser Werthe als Mass des psychischen Gesammteindruckes auftreten.

Grailich in seinen sonst so schätzbaren Abhandlungen über das Zustandekommen zusammengesetzter Farben in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie 1854. XII. S. 783. XIII. 201 setzt die lebendige Kraft der Lichtschwingungen, wovon der Empfindungseffect abzuleiten, dem Quotienten aus der einfachen Schwingungsdauer in das Quadrat der Amplitude, oder, was dasselbe ist, dem Producte aus der einfachen Schwingungszahl in das Quadrat der Amplitude, also dem Werthe an^2 proportional, indess Seebeck in seinen Abhandlungen über die Verhältnisse des Schalles (Poggend. Ann. LXII. 572. LXVIII. 461), eben so wie es hier geschieht, die lebendige Kraft der Schwingungen proportional $n^2 a^2$ setzt. Letzteres ist unstreitig triftiger*), und der Punct, wo Grailich geirrt hat, leicht anzugeben.

---

*) Dass Grailich von Lichtschwingungen, Seebeck von Schallschwingungen handelt, kann begreiflich keinen Unterschied im betreffenden Gesichtspuncte machen.

Die lebendige Kraft einer Schwingung ist (XII. S. 805) von Grailich triftig gesetzt

$$i = \int_0^\tau \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 dt$$

wo τ die Dauer einer Schwingung, $\frac{dy}{dt}$ die Geschwindigkeit, t die Zeit ist, was durch Integration giebt

$$i = 2\,\frac{\pi^2 a^2}{\tau}$$

wenn man für $\frac{dy}{dt}$ als Geschwindigkeit diejenige Function der Zeit t substituirt, welche in einer Schwingung statt hat, wenn a die Amplitude, π die Ludolf-sche Zahl. Nun kann aber die lebendige Kraft einer Schwingung nicht massgebend sein für die lebendige Kraft, welche durch Schwingungen während einer gegebenen Zeit entwickelt wird, um was es sich doch handelt, wenn die lebendige Kraft verschiedener Töne, Farben verglichen wird; sondern sie muss ausserdem der Zahl der Schwingungen in dieser Zeit direct, also mit τ reciprok genommen werden, wodurch statt τ vielmehr τ^2 in den Nenner, oder das damit reciproke n^2 in den Zähler kommt.

Es ist Schade, dass die mühsamen Rechnungen bezüglich der Intensitätswerthe in Grailich's Abhandlungen (Berichte Th. XIII. S. 230 ff.) dadurch ihre Triftigkeit verloren haben. Doch wird sein allgemeines Princip, die zusammengesetzten Farben zu erklären, dadurch nicht afficirt.

Die Gründe, die letzte Auffassung der ersten vorzuziehen, sind folgende:

Unstreitig haben wir Stärke und Höhe eines Tones nicht als etwas äusserlich Zusammengebrachtes anzusehen; sondern es liegt die Aufgabe in der Natur der Sache vor, den Eindruck der Stärke und Höhe im Zusammenhange aus den Grundbeziehungen der Empfindung zur Bewegung abzuleiten; und die einfachstmöglichen Voraussetzungen in dieser Beziehung werden uns im 32. Kapitel vielmehr auf einen Massausdruck des Gesammteindruckes eines Tones von der Form $\log an$ als $\log a \log n$ führen.

Abgesehen hievon spricht die Erfahrung direct gegen die Form $\log a \log n$. Nach dieser Form giebt es einen festen Punct der Stärke, bei welchem der Ton aufhört, hörbar zu sein, gleichviel, welche Höhe er habe, und einen festen Punct der Höhe, wo er aufhört, gehört zu werden, gleichviel, welche Stärke er habe. Denn ist a oder n auf den Schwellenwerth, der in der Form $\log a \log n$ gleich 1 gesetzt ist, herabgekommen, so ist das Product $\log a \log n$ in jedem Falle null, wie sich auch der andere Werth verhalte. Nicht so bei der Form $\log an$. Hier kann Stärke durch Höhe und umgekehrt betreffs der Hörbarkeit vertreten werden; es

besteht innerhalb der Gränzen der Höhe, die überhaupt nach der Einrichtung unseres Gehörorganes percipirt zu werden vermögen, für jede andere Schwingungszahl n eine andere Amplitude a, bei welcher sie hörbar wird und umgekehrt. Der Ton wird hörbar, wenn das Product an den, hier kurz $= 1$ gesetzten, Schwellenwerth $a_1 n_1$ erreicht. Diess wird bei kleinem a sein, wenn n gross ist, und umgekehrt. So entspricht es aber der Erfahrung.

In der That, tiefe Töne erfodern eine grosse Schwingungsamplitude, um noch hörbar zu sein, und hohe Töne können bei sehr geringer Stärke noch gehört werden.

Diesen Umstand hat besonders Dove hervorgehoben, in Zusammenhang mit einer auf die Farben bezüglichen Thatsache, von welcher unten die Rede sein wird, die jedoch mindestens theilweise einen anderen Grund haben muss. Um hier zunächst bei dem, was sich im Tongebiete auf die Compensation geringer Stärke durch vermehrte Höhe, oder geringer Höhe durch vermehrte Stärke bezieht, stehen zu bleiben, so erinnert Dove daran, »wie die Saiten des Contrabasses weiter schwingen müssen, als die der Violine; .... wie wir in höherem Tone sprechen, wenn wir ohne grosse Anstrengung gehört sein wollen; wie, wenn die tiefe, durch das Sprachrohr verstärkte, Stimme des Seemannes im Sturme verhallt, noch der schrillende Ton der Bootspfeife durch das Brausen der Wogen und das Geräusch des Windes hindurchdringt; und wie Savart mittelst der Speichensirene gezeigt hat, dass die Gränze der Wahrnehmbarkeit der Töne nach der Tiefe hin durch die Stärke der Töne erweitert werden kann.«

Auch folgender Umstand verträgt sich gar nicht mit der Form $\log a \log n$, indess er in die Form $\log a + \log n$ wohl hineintritt.

Wenn die Empfindung der Stärke oder Höhe ohne Rücksicht auf das andere Element allein sich ver-m-facht, so kann man diess nach jeder Voraussetzung durch $m \log a$ oder $m \log n$ darstellen. Nun tritt im Producte $\log n \log a$ der Factor $\log n$ oder $\log a$ an die Stelle von m, und hienach müsste man erwarten, falls anders mathematische Consequenz bestehen soll, dass damit die Empfindung der Stärke im Verhältnisse von $\log n$ und die der Höhe im Verhältnisse $\log a$ wachse, also eine wechselseitige Steigerung der Stärke und Höhe eintrete, man also bei vermehrter Höhe eines Tones zugleich einen vermehrten Eindruck der Stärke, und bei vermehrter Stärke den Eindruck einer vergrösserten Höhe erhalte,

was aber nicht der Fall ist. Bei der Form $\log a + \log n$ tritt diese Schwierigkeit nicht ein.

Allerdings steht der Form $\log an$ die Schwierigkeit entgegen, dass, wenn man mit der Vertiefung des Tones über eine gewisse Gränze geht, keine Verstärkung des Tones mehr hinreicht, ihn hörbar zu machen, und eben so gar zu hohe Töne nicht mehr hörbar sind, während doch nach der Form $\log an$ jede Verkleinerung von n durch eine Vergrösserung von a compensirt wird, und der Eindruck des Tones mit wachsender Höhe ins Unbestimmte zunehmen müsste.

Gewiss ist diess als eine Abweichung von der Gültigkeit der Formel $\log an$ an der unteren und oberen Gränze der Hörbarkeit der Töne anzusehen, wie wir aber schon sonst gewohnt sind, eine untere und obere Gränze für die Gültigkeit unserer Grundformeln zu finden, welche Gränzen doch voraussetzlich nur für die äussere, nicht für die innere Psychophysik bestehen, insofern die äusseren Reize nur innerhalb gewisser Gränzen, in denen sich der gewöhnliche Sinnesgebrauch hält, proportionale psychophysische Bewegungen auslösen, auf welche die Grundformeln eigentlich zu beziehen sind, also auch nur innerhalb solcher Gränzen diese vertreten können.

In der That ist der Gehörapparat des Menschen unstreitig blos geeignet, Schwingungen innerhalb gewisser Gränzen der Höhe aufzunehmen und bis zu gewissen Gränzen der Stärke zu erzeugen, und die Unhörbarkeit noch so starker tiefer oder hoher Töne beruht hienach nicht darauf, dass sehr langsame oder schnelle psychophysische Oscillationen selbst bei grösster Amplitude unhörbar sind, sondern dass sie im Menschen gar nicht in erfoderlicher Stärke zu Stande kommen, wenn schon äussere Schwingungen dazu da sind.

Schon das Trommelfell mit seinen annectirten Theilen kann bei zu grosser Höhe oder Tiefe die Dienste versagen*); ja durch ein von Wollaston angegebenes Mittel sogar künstlich taub gegen tiefe Töne gemacht werden**).

---

*) Vergl. über diesen Punct in theoretischer Beziehung insbesondere Seebeck in Pogg. Ann. LXVIII. S. 458.

**) Philos. transact. 1820. p. 307. »I remarked that, when the mouth and nose are shut, the tympanum may be so exhausted by forcible attempt to take breath by expansion of the chest, that the pressure of the external air is strongly felt upon the membrana tympani, and that, in this state of

Ausserdem ist nicht unwahrscheinlich, dass die Nerventasten, die von den Tönen angeschlagen werden, oder accessorischen Apparate, mittelst deren sie nach neueren Untersuchungen angeschlagen zu werden scheinen, nur bis zu einer gewissen Höhe reichen. In der That liegen viele Gründe vor, worauf ich im 33. Kapitel näher eingehe, zu vermuthen, dass zur Apperception von Tönen verschiedener Höhe verschiedene Nervenfasern gehören.

Viele Menschen vermögen hohe Töne überhaupt nicht wahrzunehmen. Bekannt sind in dieser Beziehung die Beobachtungen von Wollaston*), wonach gewisse hohe pfeifende Töne der Insecten, ja wohl selbst das Zirpen von Spatzen von manchen Personen nicht mehr gehört werden, welche aber tiefere Töne vernehmen. Ich selbst war sehr frappirt, als ich einst eine Fussreise mit Prof. Ch. H. Weisse, welcher auf einem Ohre sehr schwerhörig ist, machte, dass er von dem an einem heissen Sommertage uns umgebenden, höchst lebhaften Gezirpe der Grillen und anderer Insecten nicht das Geringste vernahm, auch sonst nie dergleichen zu vernehmen versicherte, indess er doch das mir weit schwächer erscheinende Rollen eines fernen Wagens hörte. Und Bonafont**) zieht das allgemeine Resultat aus seinen Beobachtungen über Taube, »dass in dem Masse, als die Empfindlichkeit des Ohres abnimmt, dasselbe die Hörbarkeit für die hohen Töne verliert, während es die tieferen noch deutlich wahrnimmt.« Eine Person konnte weder h^{II} noch a^{II} ($\underline{\underline{h}}$ noch $\underline{\underline{a}}$) hören, nahm aber e^{II} ziemlich und c^{II} sehr deutlich wahr. Bonafont glaubt sogar, danach die Heilbarkeit verschiedener Grade von Taubheit beurtheilen zu können. Auch Wollaston***) bemerkt von Schwerhörigen: »that they usually hear sharp sounds much better than lower ones.«

Diess Resultat scheint indess doch einer Beschränkung zu bedürfen, und bei gewissen Arten der Schwerhörigkeit vielmehr hohe Töne besser als tiefe gehört zu werden; indem ich in der »rationellen Otiatrik« von Erhard (1859) S. 65 folgende Stelle finde: »Ich habe die Bemerkung gemacht, dass fast alle nervös Schwerhörigen relativ hohe Töne besser, leichter hören, als tiefe Töne von gleicher Intensität, ohne dafür einen besonderen Grund ausfindig gemacht zu haben. Bei acustisch Schwerhörigen findet sich bei Combination des *Tensor tympani* relativ ein auffallend besseres Auffassungsvermögen für hohe Töne als für tiefe, und zwar aus dem sehr einfachen Grunde, weil ein gespanntes Trommelfell mehr den Eigenton für hohe Töne hat.... Ferner ergeben meine pathologischen Beobachtungen, dass beim Fehlen des Trommelfelles tiefe Töne relativ besser gehört werden, vielleicht weil der *Stapedius* leichter auf tiefe Töne resonirt.«

Nicht ohne Interesse ist folgende Bemerkung von Wollaston†): »From the numerous instances in which I have now witnessed the limit to

---

tension from external pressure, the ear becomes insensible to grave tones without losing in any degree the perception of sharper tones.«

*) *Philos. transact.* 1820. *p.* 306.

**) *Compt. rend. T. XX. p.* 1498. Pogg. Ann. LXV. S. 448.

***) *Philos. transact.* 1820. *p.* 306.

†) *Philos. transact.* 1820. *p.* 312.

acuteness of hearing, and from the distinct succession of steps that I might enumerate in the hearing of different friends, as the result of various trials that I have made among them, I am inclined to think, that at the limit of hearing, the interval of a single note between two sounds, may be sufficient to render the higher note inaudible, although the lower is heard distinctly.«

Im Uebrigen hat sich die obere Gränze der hörbaren Töne durch die successiven Beobachter mehr und mehr ausgedehnt, und es fragt sich, ob schon die Gränze erreicht ist. Vergl. in dieser Hinsicht Th. I. S. 258.

Man kann bemerken, dass die Form $\log a + \log n$, oder, um die Schwellenwerthe wieder mit einzuführen, $\log \frac{a}{a_1} + \log \frac{n}{n_1}$ mit der, in der Summenformel sich darbietenden Form $\log \frac{\beta}{b} + \log \frac{\beta'}{b'}$ ganz übereinstimmt, welche stattfindet, wenn wir zwei Reizgrössen β, β' auf zwei verschiedene Puncte mit verschiedenen Empfindlichkeiten wirken lassen. Die Bedeutung dieser Form verallgemeinert sich also dahin, dass nicht blos das, was derselben Seite der Empfindung angehört, auf zwei verschiedenen Puncten, sondern auch das, was zwei verschiedenen Seiten angehört, auf demselben Puncte sich unter dieser Form verbinden. Und diess hat beidesfalls den übereinstimmenden Erfolg: dass, so wie die Reizgrössen auf zwei verschiedenen Puncten einer gesonderten Auffassung unterworfen werden können, indess sie doch in einer gemeinsamen Raumanschauung begriffen bleiben, so Stärke und Höhe auf demselben Puncte, indess sie in einer gemeinsamen Tonempfindung begriffen bleiben.

Bei der übrigens stattfindenden gänzlichen Uebereinstimmung der Form $\log \frac{a}{a_1} + \log \frac{n}{n_1}$ mit der Form $\log \frac{\beta}{b} + \log \frac{\beta'}{b'}$ ist jedoch der Unterschied nicht zu übersehen, dass in letzter Form b, b' unabhängig von einander sind, indess in erster a_1 und n_1 durch die Gleichung $a_1 n_1 =$ Const. verknüpft sind. Diess führt mit sich, dass der empfundene Höhen**unterschied** der Töne durch ihre verschiedene Stärke eben so wenig abgeändert wird, als die Höhe selbst. Denn es sei der eine Ton $\log \frac{an}{a_1 n_1}$, der andere $\log \frac{a'n'}{a'_1 n'_1}$, so ist a_1 zwar von a'_1 und n_1 von n'_1 verschieden, aber $a'_1 n'_1 = a_1 n_1$ und der gesammte Tonunterschied

$$\log \frac{an}{a'n'} = \log \frac{a}{a'} + \log \frac{n}{n'}$$

Ungeachtet ein tiefer schwacher und ein hoher starker Ton einen Massausdruck von gleicher Grösse haben können, so ist doch der qualitative Eindruck oder Charakter beider nach der Zusam-

mensetzung dieses Massausdruckes verschieden. Der erste erscheint uns verhältnissmässig ernst, würdig, schwer, breit, der zweite spitzig, dünn, schrillend.

Die Triftigkeit der Form log *an* vorausgesetzt, so ist der Schwellenwerth der Stärke eines Tones nur insoweit constant, als die Höhe constant ist, und der Schwellenwerth der Höhe nur in soweit, als die Stärke constant ist, und es steht, allgemein gesprochen, der Schwellenwerth der Schwingungszahl, wovon die Höhe abhängt, im umgekehrten Verhältnisse der Amplitude der Schwingung, und umgekehrt der Schwellenwerth der Amplitude der Schwingung im umgekehrten Verhältnisse der Schwingungszahl, im directen der Schwingungsdauer.

Wahrscheinlich bestehen in Betreff der Gränzen der Hörbarkeit der Töne grosse Verschiedenheiten zwischen verschiedenen Geschöpfen (wie diess Wollaston specieller ausgeführt hat), indem jedes Geschöpf je nach seiner Lebensweise mit Aufnahmsorganen und Nerventasten für einen gewissen grösseren oder kleineren, höheren oder niederen Theil der Tonscale versehen sein mag, wobei wir immer vorauszusetzen haben werden, dass schnellere Schwingungen und kleinere Amplituden zusammengehören. Wenn das, was für Tonschwingungen gilt, sich auf alle Schwingungen, von denen Empfindungen abhängen, verallgemeinern lassen sollte, so haben wir gewissermassen schon in Auge und Ohre zwei so verschiedene Geschöpfe, da die Lichtschwingungen bei ungeheurer Kleinheit ungeheuer schnell, die Schallschwingungen bei viel grösserer Langsamkeit viel grösser sind, insofern es als wahrscheinlich gelten kann, dass diess Verhältniss der äusseren Schwingungen sich ins Innere übersetzt. Freilich kann, wie alsbald erörtert werden soll, die Form log *an* auf Farben keine directe Anwendung finden, wenn wir die Abhängigkeit der Empfindung vom äusseren Farbenreiz danach messen wollen; doch ist damit die Möglichkeit noch nicht ausgeschlossen, dass, wenn uns eine letzte Analyse der inneren Schwingungsbewegungen, die der Lichtempfindung unterliegen, zu Gebote stände, die Massform log *an* auch hier massgebend sein würde.

Man könnte sich Systeme denken, in welchen Bewegungen von so langer Periode als die Bewegung der Erde um die Sonne doch noch Empfindungsphänomene vermittelten, wenn zugleich die Amplitude entsprechend gross wäre; auch können wir nicht

wissen, ob die Welt selbst nicht ein solches System ist. Nur wäre es nutzlos, solchen Möglichkeiten hier weiter nachzugehen.

Das Vorige zusammengefasst, so hängt die strenge Begründung der Form log an als Massausdruck für die Intensität der Tonempfindung und die etwaige Uebertragbarkeit dieser Form auf andere Empfindungen an zwei Bedingungen: 1) dass das Weber'sche Gesetz für Stärke und Höhe insbesondere gilt, wie es sich wirklich bei Tönen so gefunden hat; hieran hängt die logarithmische Form des Massausdruckes und seine Zerlegbarkeit in zwei unabhängige Glieder; 2) dass die Intensität des Toneindruckes dieselbe bei gleichbleibender lebendiger Kraft a^2n^2 und mithin gleichem Schwingungsproduct an bleibe, mithin die Verringerung der Hörbarkeit bei verminderter Amplitude durch eine entsprechende Vermehrung der Schwingungszahl und umgekehrt die Verminderung der Hörbarkeit bei verminderter Schwingungszahl durch eine entsprechende Vermehrung der Amplitude compensirt werden könne, was man ebenfalls bei Tönen in soweit als bestätigt ansehen kann, als man nach dem allgemeinen Ausfalle von Erfahrungen, wie solche S. 168 angeführt wurden, gehen kann.

Inzwischen reicht Letzteres freilich zu einer genauen Bewährung noch nicht hin, und in dieser Beziehung ist folgende Bemerkung wichtig. Sowohl die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für Stärke und Höhe insbesondere, als die Compensirbarkeit der Stärke durch Höhe und umgekehrt in Betreff der Hörbarkeit des Tones im Allgemeinen, soweit sie bis jetzt durch allgemeine und unbestimmte Erfahrungen constatirt ist, würden sich ebensowohl mit Formen des Massausdruckes von der Form log an^2 oder log a^2n, als der Form log an vertragen. So dass durch Erfahrung noch nicht zwischen diesen verschiedenen Formen entschieden ist, und die Form log an nur wegen ihrer grösseren Einfachheit und einfacheren Beziehung der Empfindungsgrösse zur Grösse der lebendigen Kraft so lange vorgreiflich zu bevorzugen sein dürfte, als eine directe Entscheidung nicht vorliegt.

Eine solche Entscheidung, liesse sie sich durch das Experiment gewinnen, wozu, wie ich unten zeige, nicht alle Aussicht fehlt, würde aber von äusserster Wichtigkeit sein. Aus den Erörterungen eines künftigen (des 32.) Kapitels geht nämlich hervor, dass die Form log an gefodert wird, wenn die Intensität der Empfindung von der Grösse der Geschwindigkeiten, die Form log an^2

aber, wenn sie von der Grösse der Geschwindigkeitsänderungen (Geschwindigkeiten zweiter Ordnung), die im Laufe einer Schwingung stattfinden, im Sinne der Massformel abhängt, welches eine ganz fundamentale Frage für die Psychophysik ist, über die auf diese Weise entschieden werden könnte. Und ungeachtet ich beim bisherigen Mangel einer solchen Entscheidung die Form log an als die einfachere bevorzugt habe und demnächst bevorzugen werde, stelle ich es doch noch ganz dahin, ob dieser Vorzug sich bewähren wird*). Der Unterschied zwischen beiden Formen macht sich übrigens nicht sowohl in allgemeinen Folgerungen als den Verhältnissen der Masswerthe von Stärke und Höhe, an die sie sich knüpfen, geltend.

Das Experiment, was ich, als möglicherweise zur Entscheidung führend, im Auge habe, ist dieses:

Gesetzt, man lässt denselben Hammer immer aus derselben Höhe auf dieselbe horizontale Saite, aber bei verschiedener Spannung derselben, fallen, oder dasselbe Pendel immer bei Erhebung um denselben Elongationswinkel gegen dieselbe aber verschieden gespannte verticale Saite schlagen, so wird sich die Saite immer mit gleicher lebendiger Kraft bewegen, aber je stärker sie gespannt wird, desto mehr wird a abnehmen, n zunehmen, d. i. sie wird in immer kleinerer Amplitude schwingen, indess sie zugleich eine immer grössere Tonhöhe erlangt. Das Product a^2n^2, mithin auch an wird gleich bleiben.

Gilt nun der Massausdruck log an, so wird auch der Ton immer bei derselben Fallhöhe hörbar zu werden anfangen und aufhören, wie man auch die Spannung der Saite abändere; oder, falls man den Versuch mit zwei gleichen aber verschieden gespannten Saiten und zwei dazu gehörigen gleich construirten Hämmern oder Pendeln bei gleicher Fallhöhe (unter Umkehr des Versuchs mit beiden) anstellt, was unstreitig den Vergleich erleichtern würde, der Ton beider bei derselben Entfernung des Hörenden anfangen und aufhören bemerklich zu werden.

Ist hingegen die Form log an^2 triftig, so wird die Hörbarkeit

*) In Th. II. S. 32 habe ich selbst schon vorgreiflich eine Bevorzugung der Voraussetzung, auf welche sich die Form log an^2 stützt, ausgesprochen, kann jedoch nach genaueren Erwägungen die Gründe dafür auch nicht mehr durchschlagend finden und stelle die Entscheidung ganz dem Erfolge künftiger erfahrungsmässiger Untersuchungen anheim.

durch Vergrösserung von n mehr zunehmen, als durch Vergrösserung von a.

Sollte die Form $\log a^2n$ gelten, was vorauszusetzen jedoch kein theoretischer Grund vorliegt, so würde das Umgekehrte gelten.

Für den Augenblick bin ich nicht in der Lage, diesen Versuch genau genug mit den erfoderlichen Abänderungen anzustellen, was mir vielleicht künftig möglich sein wird; wenn nicht inzwischen, wie ich wünsche, Andere sich desselben angenommen haben. Unstreitig würde sich noch mehr von demselben erwarten lassen, wenn nicht ein Umstand wäre, der seine entscheidende Kraft sehr beeinträchtigen muss. Sein Resultat würde einfach und unzweideutig sein, wenn der Gehörapparat jedes n gleich leicht aufnähme, d.h. der Amplitude der äusseren Schwingungen mit proportionaler Amplitude der inneren correspondirte, aber nach den mitgetheilten Thatsachen ist diess nicht der Fall; und je mehr das n sich den Gränzen der Hörbarkeit nähert, desto mehr muss bei gleichbleibendem Werthe an die Hörbarkeit abnehmen, selbst wenn die Form $\log an$ bezüglich der inneren Bewegungen richtig sein sollte, was zu untersuchen das Hauptinteresse ist. Es wird die Frage bleiben, inwiefern die etwa bemerkten Abänderungen in der Hörbarkeit verschieden hoher Töne bei gleicher lebendiger Kraft vielmehr davon abhängen, dass die Gleichheit der lebendigen Kraft der äusseren Schwingungen sich nicht ins Innere überträgt, oder davon, dass der innerlich gleichen lebendigen Kraft bei verschiedenem n und a keine gleiche Intensität der Empfindung zugehört. Inzwischen liesse sich doch vielleicht durch Combination der Resultate von Versuchen 1) gegen die untere, 2) gegen die obere Gränze der Hörbarkeit, 3) um die Mitte zwischen beiden ein bindender Schluss ziehen; zumal nicht unwahrscheinlich eine derartige Accommodationsfähigkeit der Spannung des Trommelfelles stattfindet, dass die Perception verschieden hoher Töne innerhalb gewisser Gränzen gleich leicht erfolgt.

Sollte jedoch der Versuch wegen nicht lösbarer Complication der Bedingungen kein hinreichend entscheidendes Resultat in Betreff der, die innere Psychophysik angehenden, Hauptfrage liefern, so würde es immerhin nützlich sein, sein zusammengesetztes Resultat für die äussere Psychophysik festgestellt zu haben.

Mag nach Allem der Massausdruck $\log an$ oder $\log an^2$ sich

als der triftigere erweisen, so lässt er sich doch nach den bisher vorliegenden allgemeinen Erfahrungen nur für das Gebiet der Töne, nicht der Farben in Anspruch nehmen. Denn für Farben besteht nach der schon Th. I. S. 175 gemachten Bemerkung das Weber'sche Gesetz nicht eben so wie für Tonhöhen, also schon die erste Bedingung der Form log an oder log an^2 trifft hier nicht zu; und es gibt eine Thatsache, wonach auch die zweite nicht zutrifft.

Diese, wenn ich nicht irre, zuerst von Purkinje*) bemerkte, von Dove**) seinerseits selbstständig aufgefundene und genauer verfolgte, von Grailich***) gelegentlich constatirte, von Helmholtz†) am schärfsten bestimmte und formulirte Thatsache, zufolge deren man in der Dämmerung das Blau länger als das Roth erkennt, was am Tage einen stärkeren Eindruck macht, wird von Letzterem in folgendem Satze oder Gesetze ausgesprochen. »Zwei farbige Lichtmengen, welche bei einer gewissen absoluten Lichtintensität gleich hell erscheinen, thun es im Allgemeinen nicht mehr, wenn die Lichtmengen beider verdoppelt oder halbirt werden. Und zwar wird im ersten Falle die minder brechbare der beiden Farben, im letzten die brechbarere die hellere werden.«

»Die erwähnte von Dove aufgefundene Erscheinung liess sich — sagt Helmholtz — bei meinen Versuchen an den homogenen Farben sehr gut beobachten. Ich liess zwei farbige Lichtmengen durch die Spalten des Schirmes in solcher Menge dringen, dass sie gleich dunkle Schatten warfen, und brachte zwischen den Heliostaten und den ersten Spalt eine einfache oder mehrfache Lage eines dünnen weissen Gewebes, welches einen Theil des Sonnenlichtes zurückhält, ohne das Verhältniss seiner verschiedenartigen Bestandtheile zu verändern. Es erschien dann der Schatten der minder brechbaren Farbe dunkler als der der brechbareren. Uebrigens waren die Unterschiede sehr gering, so lange ich beide Farben aus der minder brechbaren Hälfte des Spectrum, Roth bis Grünblau, nahm, viel auffallender zwischen denen der brechbareren Hälfte, und am stärksten, wenn man Violet mit einer der minder brechbaren Farbe verband.«

Man darf diese Thatsache nicht, wie es wohl geschehen ist, mit der Thatsache gleichgeltend halten, dass eine grössere Schwingungszahl eine kleinere Amplitude für die Wahrnehmbarkeit com-

*) Purkinje, N. Beitr. 109.

**) Berichte der Berl. Akad. 1852. 69 oder Pogg. LXXXV. 397.

***) Sitzungsber. der Wien. Akad. 1854. XIII. 251.

†) Pogg. XCIV. 19.

pensiren kann; denn während letztere, bei Tönen hinreichend constatirte, Thatsache in die Form log an oder log an^2 hineintritt und dadurch gefodert wird, widerspricht die im Helmholtz'schen Satze enthaltene Thatsache, die bis jetzt blos bei Farben, nicht bei Tönen constatirt ist, dieser Form, wie jeder Form, welche eine gleiche Wahrnehmbarkeit an eine gleiche lebendige Kraft oder an die Gleichheit eines Productes wie an^2 oder a^2n knüpft. Denn wenn bei zwei Tönen oder Farben $a^2n^2 = a'^2n'^2$, mithin $an = a'n'$ ist, so wird auch $2an = 2a'n'$ bleiben müssen; und also weder die logarithmische noch irgend welche Function von a^2n^2 oder an als Massausdruck für die Intensität der Empfindung sich mit dem Helmholtz'schen Satze vertragen. Entsprechend bei Functionen von an^2 oder a^2n. Wenn also Blau bei Dämmerung das Roth überwiegt, so müsste es nach solcher Form des Massausdruckes auch noch bei grösster Tageshelligkeit dasselbe überwiegen; wogegen die Dove'schen Erfahrungen und der Helmholtz'sche Satz das Gegentheil besagen.

Untersucht man, ob etwa die Form $\log a \log n$ geeigneter wäre, den Helmholtz'schen Satz als Folgerung herzugeben, so zeigt sich, dass man vielmehr noch schlechter damit fahren würde; indem, wenn man bei zwei an Grösse gleichen Intensitäten $\log a \log n$ und $\log a' \log n'$ die Amplitude a und a' in demselben Verhältnisse vergrössert, nicht nur keine Gleichheit der Intensitäten bleiben kann, sondern dem Helmholtz'schen Gesetze gerade entgegen die Farbe mit der grösseren Schwingungszahl in Uebergewicht kommen muss.

In der That gehen die Intensitäten $\log a \log n$ und $\log a' \log n'$ durch Multiplication der Werthe a und a' mit demselben Werthe m über in

$$\log ma \log n \text{ und } \log ma' \log n'$$
$$= (\log m + \log a) \log n \text{ und } (\log m + \log a') \log n$$

wonach der Werth $\log a \log n$ um $\log m \log n$, der Werth $\log a' \log n$ um $\log m \log n'$, mithin der Werth mit der grösseren Schwingungszahl um mehr als der andere vermehrt erscheint.

Also kann man die unstreitig stattfindende Gemeinsamkeit der Thatsache für Farben und Töne, dass kleinere Schwingungszahlen eine grössere Amplitude fodern, um wahrnehmbar zu sein, doch nicht mit einer Gemeinsamkeit des Helmholtz'schen Gesetzes für beide verwechseln, welche keineswegs damit gesetzt ist*), und ich halte es für nicht unwahrscheinlich, dass das

*) Hierauf macht auch schon Grailich in den Sitzungsber. d. Wien. Akad. XIII. 1854. S. 253 aufmerksam.

Helmholtz'sche Gesetz bei Farben mit so vielen anderen Abweichungen, welche die Verhältnisse der Farben von denen der Töne darbieten und welche ich im 33. Kapitel besonders zusammenstellen werde, zusammenhängt, und also nur für Farben, nicht für Töne gilt, in welcher Beziehung freilich directe Versuche, in Verbindung mit dem oben S. 174 vorgeschlagenen, noch sehr wünschenswerth wären.

Nicht zu übersehen ist übrigens, dass das im Helmholtz'schen Satze enthaltene Erfahrungsresultat nur an getrennten Farben sich bestätigt, und dass es sich anders verhält, wenn die Farben zum weissen Lichte gemischt sind, als welches weiss bleibt, wenn man die Stärke aller seiner Componenten in demselben Verhältnisse schwächt, so wie auch, dass das Resultat selbst bei getrennten Farben nicht sehr deutlich wird, so lange beide Farben aus der minder brechbaren Hälfte des Spectrum genommen werden, was beweist, dass hier kein für alle Werthe von n gleich gültiges Verhältniss vorliegt. Wahrscheinlich hängt die Anomalie, die sich hier für brechbarere Farben, d. i. hohe Werthe von n, zeigt, mit der anderen Anomalie zusammen, welche Helmholtz bemerkt hat, dass die brechbareren Farben vorzugsweise vor den minder brechbaren bei veränderter Stärke zugleich die Nuance ändern*); indess nicht bekannt ist, dass höhere Töne vorzugsweise vor tieferen einer Abhängigkeit der Schwingungszahl von der Amplitude unterliegen. Schliesslich bleibt der Gegenstand noch aufzuklären.

Hienach bleiben zwei sehr wichtige Fragen übrig.

Erstens. Es hat sich theils als gewiss, theils als wahrscheinlich gezeigt, dass die Farbenempfindungen nicht in gleicher Weise von den Schwingungszahlen abhängen, als die Tonempfindungen, denn sonst müsste sich für sie gleicherweise das Weber'sche Gesetz bestätigen. Was kann der Grund des Unterschiedes sein, nachdem sie doch factisch überhaupt davon abhängen? Auf diese Frage gehe ich näher im 33. Kapitel ein, worin sich, wenn nichts schlechthin Gewisses, doch manches von vorwiegender Wahrscheinlichkeit über diesen Gegenstand wird sagen lassen.

Zweitens. Nach den früheren Untersuchungen über Stärke und Höhe der Töne (Th. I. Kap. 9) hängt der Eindruck beider

*) Pogg. XCIV. 13.

nach gleichem Gesetze, der der Stärke von der Amplitude, der der Höhe von der Zahl der Schwingungen ab, und hienach schiene es, dass alle Verhältnisse sich für die Empfindung der Stärke und Höhe gleichstellen müssten. Aber so ist es doch nicht. Die Skala der Höhen trägt einen natürlichen Massstab für das Gefühl in sich, welchen die Skala der Stärken nicht in sich trägt, und ausser dem Eindrucke der Progression bei dem Aufsteigen in der Skala der Höhen haben wir auch den Eindruck einer Periodicität, den wir beim Aufsteigen in der Skala der Stärke nicht haben. Denn bei jedem Fortschritte um eine Octave in der ersten Skala sagt uns das Gefühl zugleich, dass wir um ein Gleiches fortgeschritten und in gewissem Sinne zum früheren Eindrucke zurückgekehrt sind, wovon beim Fortschritte in der Skala der Stärken nichts Analoges stattfindet.

Mit dem Gefühle für die Octave hängt natürlicherweise das Gefühl für die Untereintheilungen der Octave zusammen. Die Skala der Stärken ist eine für das Gefühl schlechthin unendliche, wovon es keine endlichen Verhältnisstheile überhaupt gibt, wogegen das auf der Skala der Höhen abgegränzte endliche Intervall der Octave auch endliche Verhältnisstheile zulässt. Denken wir uns beide Skalen als Säulen, die ins Unendliche verlaufen. Aber auf der Säule der Höhen sind die Fusse abgetheilt und hienach schätzen wir dann leicht die Zolle. Auf der Säule der Stärken ist nichts abgetheilt, und so haben wir auch keinen Anhalt, Unterabtheilungen durch Schätzung zu bestimmen.

Woher dieser Unterschied zwischen der Empfindungsskala der Stärken und Höhen der Töne bei gleicher mathematischer Repräsentation? womit man gleich die, in die vorige Frage mit hineintretende, Frage verbinden kann, woher der Unterschied, den die Töne in dieser Hinsicht von den Farben, die doch eben so wie sie an der Schwingungszahl hängen, darbieten? Denn die Farben bieten doch nichts dem musikalischen Eindrucke des Octavenintervalles und seiner Unterabtheilungen Analoges dar. Zwar scheint das Farbenspectrum durch Violet am brechbaren Ende eine Rückkehr zum Roth am mindest brechbaren Ende anzudeuten, worüber man Näheres im 33. Kapitel nachlesen mag; aber ein Massgefühl der Zwischenintervalle zwischen Roth und Violet ist damit nicht im Geringsten gegeben; die Farben machen ihren charakteristischen Eindruck überhaupt unabhängig von ihrer Beziehung zu

einander, und die Contrastempfindungen, die in ihrer Beziehung begründet liegen, haben nichts gemein mit den Empfindungen der musikalischen Intervalle der Quinte, Quarte u. s. f.

Zeigt sich nicht, kann man fragen, hier eine Unzulänglichkeit der Theorie?

Meines Erachtens nicht eine Unzulänglichkeit insofern, als ob die bisherige Theorie irrig wäre, wohl aber eine Unvollständigkeit, sofern sie noch einer Ergänzung bedarf. Ehe ich nun diese zu geben versuche, will ich aber die sinnreiche graphische Construction und Exposition mittheilen, wodurch Drobisch schon vorlängst den Gang des progressiven Aufsteigens zugleich mit der periodischen Wiederkehr der Toneindrücke beim Durchschreiten der Tonskala versinnlicht hat, eine Darstellung, die man gewiss nicht ohne Interesse hier wiederfinden wird*).

»Denkt man sich das Intervall 1 der Octave mit dem Grundtone als den Umfang eines Kreises, dessen Halbmesser also $\frac{1}{2\pi} = 0{,}15915$ sein muss, so werden alle übrigen Intervalle Bogen dieses Kreises, deren zugehörige Mittelpunctswinkel sich leicht bestimmen lassen. Denn offenbar ist, wenn der dem Intervalle x entsprechende Winkel $= w$,

$$360^0 : w = 1 : x; \text{ also } w = x \,.\, 360^0.$$

Hiernach ergeben sich für die dreizehn Hauptintervalle folgende Werthe von w, denen wir unter w' die Werthe beifügen, die den durch Zwölftel der Octave ausgedrückten Intervallen der Tasteninstrumente entsprechen.

*) Diese Construction ist zuerst in der Abhandlung von Drobisch: »Ueber die mathematische Bestimmung der musikalischen Intervalle« in den Abhandlungen der Jablonowski'schen Gesellschaft. 1846. S. 113, und später, nur formell etwas anders, in seiner Abhandlung: »Ueber musikalische Tonbestimmung und Temperatur« in den Abhandl. d. sächs. Soc. d. Wiss., math.-phys. Cl. Bd. II. 1855. S. 35 gegeben worden. Die obige Darstellung ist wörtlich, nur mit Beiseitelassung der, leicht zu reconstruirenden, Figuren und ihrer Erklärung, der letzten Quelle entnommen. — Auf eine schon frühere ähnliche Construction von Opelt, welche mir nicht im Originale bekannt ist, weist Drobisch zum Schlusse obiger Anführung hin, indess er selbst nach der Anmerkung S. 181 seine Vorstellung vielmehr an Newton's Farbenkreis angeknüpft hat.

		w		w'
1)	Prime	0^0	$0'$	0^0
2)	kleine Secunde	33	31	30
3)	grosse Secunde	61	10	60
4)	kleine Terz	94	10	90
5)	grosse Terz	115	53	120
6)	Quarte	149	24	150
7)	übermässige Quarte	177	42	180
8)	Quinte	210	36	210
9)	kleine Sexte	244	7	240
10)	grosse Sexte	265	19	270
11)	kleine Septime	298	50	300
12)	grosse Septime	326	29	330
13)	Octave	360	0	360

»Diese Werthe von w und w' mit ihren zugehörigen Bogen stellen die Figuren 1 und 2 (des Originales) dar. Man kann in ihnen den Halbmesser nach seinen verschiedenen Lagen als das der Lage des Tones gegen den Grundton entsprechende Bild ansehen...... Im Uebrigen rechtfertigt sich hier die Benennung der Sexten und Septimen als umgekehrter Terzen und Secunden auch anschaulich. Denn lässt man den Halbmesser, nachdem er den ganzen Umfang des Kreises beschrieben, umkehren, so sind die Secunden und Terzen, die er dann von der Octave aus erzeugt, die Septimen und Sexten des Grundtones. Ebenso fällt die durch diese umgekehrte Drehung beschriebene Quarte mit der Quinte des Grundtones zusammen*).«

»Diese Drehung des Halbmessers gibt jedoch von der Veränderung, welche der Ton erleidet, wenn er von dem Grundtone allmählich zur Octave übergeht, nur ein unvollständiges Bild; denn die Octave ist bei aller Verwandtschaft mit dem Grundtone doch ein von diesem unterscheidbarer Ton. Man sagt nun zwar, sie sei der Grundton in einer höheren Lage, ohne aber darüber eine deutliche Auskunft zu geben. Nahe genug liegt hier die Bemerkung, dass, da die Aenderung der Töne eine allmähliche ist, diese höhere Lage nicht plötzlich, erst mit der Octave, eintreten kann, sondern ein stetiger Uebergang zu ihr stattfinden muss.«

---

*) Auf diese bildliche Darstellung hat uns eine Stelle in Newton's Optik (*Lib. I. Pars II. Prop. VI*) geleitet.

»Wir erhalten hierüber eine völlig genügende Aufklärung, wenn wir der Gleichung $y = 2^x$, die den Zusammenhang zwischen der relativen Schwingungszahl y eines Tones und seinem Intervalle x mit dem Grundtone darstellt, eine angemessene geometrische Auslegung geben. Wie nämlich die Werthe von x durch Bogen eines Kreises, so können die Werthe von y durch gerade Linien dargestellt werden, die in den Endpuncten jener Bogen senkrecht auf der Ebene des Kreises stehen. Offenbar liegen dann diese die Werthe von y darstellenden Geraden in der krummen Fläche eines Cylinders, der jenen Kreis zur Basis hat, ihre Endpuncte in einer sich um den Cylinder windenden logarithmischen Spirale. Da für $x = 0$, $y = 1$, so ist der Abstand des dem Grundtone entsprechenden Punctes dieser Spirale von der Basis des Cylinders $= 1$; und da für $x = 1$, $y = 2$, so ist der Abstand des der Octave entsprechenden Punctes doppelt so gross. Jeder zwischenliegende Ton, für welchen immer $1 > x > 0$ und $2 > y > 1$, hat seinen entsprechenden Punct in der Spirale. Hiernach stellen also x und y die Coordinaten einer logarithmischen Spirale auf der Fläche eines geraden Cylinders dar, und kann y als die absolute Höhe des Tones, x als seine Abweichung von der Richtung des Grundtones bezeichnet werden.«

»Setzt man $y - 1 = u$, so drückt u die relative Höhe des durch die relative Schwingungszahl y gegebenen Tones in Bezug auf die Höhe seines Grundtones, oder kürzer die Erhebung des Tones über den Grundton aus; dann ist also

$$u = 2^x - 1.$$

Die Werthe von u werden dargestellt durch die Abstände der Puncte der Spirale von der Ebene des Kreises, die parallel zu der Ebene der Basis durch den Punct der Spirale gelegt wird, welcher dem Grundtone entspricht; oder x und y sind die Coordinaten der Spirale, welche sich auf diesen der Basis parallelen Schnitt des Cylinders beziehen.....«

»Nach dieser (durch Fig. 3 und deren Exposition im Originale erläuterten) Darstellung ist nun das der stetigen Aufeinanderfolge der Töne entsprechende Bild nicht sowohl die logarithmische Spirale auf der Cylinderfläche, als vielmehr die Schraubenfläche, welche ein Halbmesser des Cylinders beschreibt, wenn er in der Axe des Cylinders sich erhebt und sich zugleich um dieselbe dreht, und zwischen Erhebung und Drehung die Relation $u = 2^x - 1$,

oder was dasselbe, $x = \log_2 (1 + u)$ stattfindet. Hebt man, wie in der musikalischen Tonfolge *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *a*, *h*, $\bar{c}$ geschieht, nur eine bestimmte Anzahl von Tönen, mit Ueberspringung der zwischenliegenden, aus, so geben die ihnen entsprechenden Linien das Bild einer Wendeltreppe. Die Ausdrücke Tonleiter, Tonstufen sind also, wenn man zugleich an die Windung der Leiter denkt, in der That sehr treffend gewählt.....«

»So viel mir bekannt, hat zuerst W. Opelt (Ueber die Natur der Musik. Plauen und Leipzig 1834. S. 43) die obige cylindrische Spirale zur Versinnlichung der Tonreihe benutzt. Von der Schraubenfläche, die mir das Bild erst zu vervollständigen scheint, macht er keinen Gebrauch.«

Soweit die Darstellung von Drobisch, welche unstreitig sehr geeignet ist, von der Verbindung des progressiven und periodischen Elementes in der Tonreihe eine anschauliche Vorstellung zu geben.

Zeigen wir nun zuvörderst, wie unter Wahl blos anderer Einheiten diese Construction mit unseren bisherigen Massausdrücken in Beziehung tritt.

Sei n' die Schwingungszahl eines beliebigen Grundtones, n die eines dagegen betrachteten anderen Tones, $\frac{n}{n'} = y$ ihr Verhältniss, x die Empfindung des Unterschiedes zwischen n und n', d. i. die Empfindung ihres Intervalles, k unsere gewöhnliche Constante, so gibt die Unterschiedsformel

$$x = k \log \frac{n}{n'}$$

Da dem k vermöge willkührlicher Wahl der Empfindungseinheit, dem n' vermöge willkührlicher Wahl der Zeiteinheit, für welche man die Schwingungszahl bestimmt, ein willkührlicher Werth beigelegt werden kann, so nehmen wir behufs der daran zu knüpfenden Kreisconstruction $k = 2\pi$, wo π die Ludolf'sche Zahl bedeutet; nehmen ferner in Betracht der fundamentalen Bedeutung, welche das Schwingungsverhältniss 2 als Vergleichungsmassstab mit allen anderen Schwingungsverhältnissen hat, die Grundzahl der Schwingungen n' und des logarithmischen Systemes zugleich durch diess Verhältniss gegeben, so dass

$$x = 2\pi \log \frac{n}{2} = 2\pi (\log n - 1)$$

(welcher Ausdruck noch mit log 2 zu dividiren sein würde, wenn

man statt eines logarithmischen Systems mit der Grundzahl 2 das gewöhnliche anwenden wollte).

Stellen wir nun die Werthe von x, welche nach dieser Formel gegebenen Werthen von n entsprechen, durch Bogen eines Kreises vom Radius 1 dar, welche von einem bestimmten Anfangspuncte an genommen sind, so ist 2π der Umfang dieses Kreises und zugleich Repräsentant des Octavenintervalles. Jedesmal, wenn n eine Potenz der Grundzahl 2 wird, d. h., wenn der Ton auf eine höhere Octave steigt; wird $\log\frac{n}{2}$ eine ganze Zahl, mithin x ein Multiplum von 2π nach einer ganzen Zahl, d. i. gleich einer ganzen Zahl Kreisumfänge, oder kehrt x in der Construction zum Ausgange zurück, welcher stattfindet, wenn $n = 2$, d. h. gleich der Schwingungszahl des Grundtones ist. Stellen wir nun zugleich das Schwingungsverhältniss $\frac{n}{2} = y$ durch gerade Linien dar, die in den Endpuncten des Bogens x senkrecht auf der Ebene des Kreises stehen u. s. f., wie Drobisch, so haben wir ganz dessen Construction.

Auch lassen sich die, beiderseits untergelegten, mathematischen Ausdrücke leicht auf einander reduciren. Nach Drobisch hat man $y = 2^x$, mithin

$$x = \frac{\log y}{\log 2} = \frac{\log \frac{n}{n'}}{\log 2}$$

oder, wenn man, wie Drobisch selbst für die Anwendung der Logarithmen im Tongebiete vorgeschlagen, 2 als die Grundzahl des logarithmischen Systems und zugleich mit uns als Grundzahl der Töne nimmt

$$x = \log\frac{n}{2}$$

wonach nur der Unterschied zwischen Drobisch's und unserer Formel übrig bleibt, dass dieselbe Constante k, die wir $= 2\pi$ setzen, von ihm $= 1$ gesetzt wird, was mitführt, dass bei ihm der Radius des Kreises $= \frac{1}{2\pi}$, der Umkreis $= 1$, bei uns der Radius $= 1$, der Umkreis $= 2\pi$ gesetzt ist. Da nun beidesfalls das Octavenintervall durch einen Kreisumfang repräsentirt wird, so hat dieses auch bei Drobisch den Werth 1, bei uns den Werth 2π, wovon Ersteres insofern angemessener erscheint, als die Octave die natürliche Masseinheit für die Tonintervalle bildet. Da es sich jedoch hier nicht um Darstellung der Tonverhältnisse in Zahlen, sondern durch Geometrie handelt, hat es gegentheils etwas für sich, den Radius wie gewöhnlich durch 1, den Umfang durch 2π auszudrücken; und schliesslich bleibt die Wahl der Einheiten für die Construction gleichgültig.

Uebrigens sieht man nach einem Blicke auf unsere Formel leicht, dass der Gang der Toneindrücke noch einfacher, als durch

eine, um einen Cylinder gewickelte, Spirale, durch eine ebene Spirale dargestellt werden kann, wenn man die Gleichung

$$x = 2\pi \log \frac{n}{2}$$

durch Polcoordinaten darstellt, dabei x insbesondere als Winkel, und entweder $\log \frac{n}{2}$ oder $\frac{n}{2}$ als Radius vector betrachtet, wovon Ersteres eine archimedische, Letzteres eine logarithmische Spirale gibt. Beidesfalls hat man in dem Winkel, welchen der Radius vector gegen seine beim Werthe $n = 2$ stattfindende Ausgangslage bildet, das Mass der empfundenen Abweichung vom Grundtone oder von irgend einer Octave des Grundtones; erstenfalls (im Falle der archimedischen Spirale) im Radius vector $\log \frac{n}{2}$ das Mass der empfundenen Höhe über dem Grundtone, sofern $x = 2\pi \log \frac{n}{2}$ proportional mit $\log \frac{n}{2}$ bleibt, zweitenfalls (im Falle der logarithmischen Spirale) im Radius vector $\frac{n}{2}$ das Mass der wirklichen oder objectiven Höhe über dem Grundtone, wenn das relative Verhältniss der Schwingungszahlen des betreffenden Tones und Grundtones so genannt wird. Beidesfalls kann man dann noch, wie es Drobisch vorschreibt, den Radius vector während seiner Drehung sich erheben lassen, und durch die Erhebung $\frac{n}{2}$ erstenfalls die wirkliche Höhe über dem Grundtone, zweitenfalls durch die Erhebung $\log \frac{n}{2}$ die empfundene Höhe über dem Grundtone dazu darstellen; so dass man beidesfalls, nur in verschiedener Form, mit der empfundenen Abweichung vom Grundtone oder einer Octave desselben zugleich die empfundene Höhe über dem Grundtone sammt der wirklichen Höhe darüber dargestellt findet, was ein kleiner Vortheil der Vollständigkeit sein dürfte. Durch beide Constructionen erhält man das Spiralblatt einer Schnecke, durch die erste ein verhältnissmässig mehr in die Höhe gezogenes, in der Schneckenaxe endlich abschliessendes, durch die zweite ein mehr in die Weite gedehntes, mit unendlich viel Windungen der Axe asymptotisch zustrebendes.

Diess trifft interessanterweise damit zusammen, dass ein Spiralblatt in ein paar Windungen einen der wichtigsten Theile unseres Gehörorganes, den Träger eines Theiles der Endausbreitung des Gehörnerven, darstellt. Ist man doch sogar geneigt gewesen, den Schneckennerven vorzugsweise vor dem Labyrinthnerven für die Empfindung der Tonhöhen bestimmt zu hal-

ten; doch ruht diess auf nichts Positivem; und sollte jenem Zusammentreffen eine mehr als zufällige Bedeutung beigelegt werden, so müsste die Ohrschnecke gerade so viel Windungen zeigen, als wir Octaven vernehmen können, was nicht der Fall ist, wenn man nicht etwa annehmen will, dass der Labyrinthnerv die Skala der Schneckentöne fortsetzt. Jedesfalls würde es einiges Interesse haben, die genaue Form des Spiralblattes unserer Ohrschnecke aufzusuchen, und noch mehr, sich teleologische Rechenschaft von der Form desselben geben zu können; wozu aber bis jetzt keine Aussicht sein dürfte, und was uns auch hier nicht wesentlich angeht.

Das Vorige ist nach Allem nur eine wenig wesentliche Transformation der ursprünglichen Darstellung von Drobisch, worauf kein Gewicht liegt, und die hier nur insofern angeführt wird, als sie sich so zu sagen von selbst als der natürlichste Ausdruck einer Begründung der dargestellten Verhältnisse dargeboten hat, auf die ich jetzt komme.

Zunächst nämlich darf man nicht übersehen, dass alle diese Constructionen nur empirische sind, welche zwar die erfahrungsmässigen Verhältnisse getreu darstellen, ohne uns aber etwas vom Grunde der dargestellten Verhältnisse zu lehren. Eine höhere oder tiefere Octave tritt mit einer für das Gefühl massgebenden Bedeutung ein, wenn sich eine Schwingungszahl verdoppelt oder halbirt, daher die Zahl 2 als eine fundamentale Constante in die Formeln eingeführt ist, auf welcher diese Constructionen ruhen. Aber warum könnte nicht 3, 4, $\frac{3}{2}$ oder irgend eine Irrationalzahl diese Constante sein, wonach dann statt der Octave irgend ein anderes Intervall die massgebende Bedeutung haben würde, welche in Wirklichkeit die Octave hat. Der Toneindruck kehrt in gewissem Sinne zum Ausgangspuncte bei jeder Octave zurück, daher die Kreisfunction 2π als eine zweite fundamentale Constante in unsere Formel eingeführt und diese durch Polcoordinaten von uns dargestellt ist; aber welcher in der Natur der Sache liegende Grund bringt diess mit sich? Von der auf das Weber'sche Gesetz gegründeten Formel

$$x = k \log \frac{n}{n'}$$

ausgehend, könnten wir für k eben so gut jeden anderen Werth als 2π substituiren, und statt Polcoordinaten eben so gut rechtwinklige Coordinaten zur Darstellung des Grössenverhältnisses zwischen x und $\frac{n}{2}$ oder $\log \frac{n}{2}$ benutzen, wo wir dann eine gewöhnliche logarithmische Curve, aber keine Spirale erhalten würden, womit der

Ausdruck der Periodicität wegfallen würde. Warum ferner betrifft das periodische Element blos die Höhe, nicht die Stärke, warum tritt es entschieden blos im Gebiete der Töne, nicht der Farben auf? Auf alles diess gibt uns die Construction keine Antwort, sondern verlangt vielmehr erst die Antwort.

Es hat mich nun sehr überrascht, etwas, was mir eine Antwort darauf scheint, ungesucht mit zu erhalten, als ich etwas Anderes, allerdings damit Zusammenhängendes, suchte, nämlich nur darauf ausging, die gemeinsame Abhängigkeit des Toneindruckes von Schwingungszahl und Amplitude, welche nach den obigen Erörterungen durch die Erfahrung gefodert scheint, durch eine Ableitung aus elementaren Voraussetzungen wiederzufinden, ohne daran zu denken, dass die Abhängigkeit des periodischen Octaveneindruckes solidarisch damit gegeben sein könnte, wie es sich wirklich gezeigt hat; ein Ergebniss, was ich aus dem 4fachen Gesichtspuncte für wichtig halte, als der Gesammtheit des Massausdruckes für den Toneindruck dadurch der Stempel der Triftigkeit aufgedrückt wird, als das tief greifende Princip elementarer Ableitung, durch die diess Ergebniss gefunden wurde, sich damit bewährt, als ein psychophysisches Räthsel damit gelöst wird, und als eine, durch anderweite, künftig (Kapitel 33) darzulegende, Gründe schon wahrscheinlich, aber doch nur wahrscheinlich zu machende, Ansicht von der Einfachheit der Schwingungsbewegungen, welche unserem Hören innerlich unterliegen, und minderen Einfachheit derer, welche dem Sehen unterliegen, dadurch gestützt, hiemit der inneren Psychophysik nach einer gewissen Richtung vorgearbeitet wird. Nur unter der Voraussetzung nämlich, dass der Schallreiz die einfachst mögliche Schwingungsform in unserem empfindenden Gehörapparate auslöst, ergibt sich die folgende Erklärung.

Ausführlicher wird dieser Gegenstand von mir im 32. Kapitel behandelt werden; ich hebe aber aus den etwas weitschichtigen Erörterungen, welche die allgemeinere Fassung der Aufgabe dort nöthig machen wird, hier vorgreifend und resumirend Dasjenige heraus, was sich auf unsere jetzige Frage insbesondere bezieht.

Im 32. Kapitel wird gezeigt werden, dass sich das Mass des Gesammteindruckes der Stärke und Höhe eines Tones von der Form $\log an$ oder $\log an^2$, zwischen welchen nach den obigen Erörterungen noch die Wahl ist, durch Summation der Masse ele-

mentarer Empfindungsbeiträge wiederfinden lässt, welche durch die einzelnen Momente der Schwingung erzeugt werden, wenn man jeden elementaren Empfindungsbeitrag entweder von der in diesem Momente stattfindenden Geschwindigkeit (was die Form $\log an$ gibt) oder Geschwindigkeitsänderung (was $\log an^2$ gibt) in derselben Weise abhängig denkt, als die ganze Empfindung von der ganzen Amplitude und Schwingungszahl abhängt.

Bei dieser Herleitung sondert sich nicht nur von selbst Dasjenige, was in dem Massausdrucke für den Ton von der Grösse der Amplitude und was von der Grösse der Schwingungsdauer abhängt, sondern man findet ausserdem in den Massausdruck einen Werth eingehend, welcher unabhängig von der Grösse der Amplitude und Grösse der Schwingungsdauer blos von der periodischen Wiederkehr derselben Schwingungsdauer abhängt, und für einfache Schwingungen von jeder Amplitude und jeder Schwingungsdauer derselbe bleibt, in den Formen des Massausdruckes $\log an$ oder $\log an^2$ aber nur desshalb nicht zum Vorschein kommt, weil er, seiner constanten Natur gemäss, in den gleich 1 gesetzten Constanten k und $a_1 n_1$ oder $a_1 n_1^2$ dieser Formen*) mit aufgeht, wie sich aus der folgenden Herleitung zeigt. Dieser Werth ist eine Function beider fundamentaler Constanten 2 und π, wovon die Bedeutung des Octavenintervalles abhängt, und zwar wird er ohne Rücksicht auf willkührliche Bestimmung der Masseinheiten und der Constante k, gleicherweise nach beiden Voraussetzungen, zwischen welchen noch die Wahl ist, absolut durch $2\pi \log \frac{1}{2}$ gegeben, was dem obigen Werthe von x für eine der Einheit gleich gesetzte Schwingungszahl n entspricht und als der reine Ausdruck des von der Periodicität der Bewegung abhängigen periodischen Elementes der Tonhöhenempfindung angesehen werden kann. Er geht nämlich ausschliesslich aus der Summation einer periodischen Function hervor, in welche die Schwingungsdauer oder Schwingungszahl, nicht die Amplitude eingeht, kann daher nur mit erster (also mit der Tonhöhe), nicht letzter in Beziehung gesetzt werden, enthält aber, wie man sieht, nicht selbst die Schwin-

*) Man erinnere sich, dass ihr entwickelter Werth eigentlich $k \log \frac{an}{a_1 n_1}$ oder $k \log \frac{an^2}{a_1 n_1^2}$ ist.

gungsdauer; diese und die Amplitude gehen von anderer Seite in den Massausdruck des gesammten Toneindruckes ein.

Der Gang der Rechnung, durch den sich diess Resultat herausstellt, geführt nach der Voraussetzung, dass die Empfindungsbeiträge von der Geschwindigkeit der Schwingung in jedem Momente abhängen, ist kurz folgender. Im 32. Kapitel wird man die Rechnung für diese Voraussetzung theils noch etwas mehr ausgeführt, theils auch für die andere Voraussetzung (Abhängigkeit von der Geschwindigkeits ä n d e r u n g) geführt finden.

In einer einfachen geradlinigen Schwingung von der Amplitude a, Schwingungsdauer τ oder damit reciproker Schwingungszahl $n = \frac{1}{\tau}$ ist die Geschwindigkeit v zur Zeit t, diese vom Maximum der Ausweichung an gerechnet, bekanntlich*)

$$v = \frac{2\pi a}{\tau} \sin \frac{2\pi t}{\tau}$$

wo π die L u d o l f'sche Zahl, oder die halbe Kreisperipherie, den Radius = 1 gesetzt. Indem nun der Empfindungsbeitrag in jedem Momente dt von der darin stattfindenden Geschwindigkeit v, oder, was bei der logarithmischen Form des Ausdruckes wesentlich auf dasselbe herauskommt, lebendigen Kraft v^2 abhängig gemacht wird, wird er durch

$$k \log \frac{v}{\mathfrak{b}}\, dt \text{ oder } k \log \frac{v^2}{\mathfrak{b}^2}\, dt$$

gegeben, wovon erster Ausdruck zu Grunde gelegt werden mag, mit Rücksicht, dass $\frac{v}{\mathfrak{b}}$ stets als positiv zu nehmen ist. Hierin bedeutet $\mathfrak{b}$ den Werth von v, bei dem der Empfindungsbeitrag auf die Schwelle tritt (die Elementarschwelle), und k die gewöhnliche Constante. Hienach wird die Empfindungssumme S_τ, welche während der Dauer e i n e r Schwingung erzeugt wird, gegeben durch

$$S_\tau = k \int_0^\tau \log \left(\frac{2\pi a}{\mathfrak{b}\tau} \sin \frac{2\pi t}{\tau} \right) dt$$

Da die Einheit der Geschwindigkeit willkührlich ist, setzen wir (um die Ausdrücke, auf die es hier ankommt, in einfachster Form zu gewinnen) den Werth $\frac{2\pi}{\mathfrak{b}} = 1$, zerlegen den Logarithmus

---

*) Man sehe z. B. H e r s c h e l über das Licht §. 569. mit Rücksicht auf den Werth $\sqrt{E} = \frac{2\pi}{\tau}$.

des Productes in eine Summe von Logarithmen, und substituiren n für $\frac{1}{\tau}$, wodurch wir die Summe folgender drei Glieder erhalten:

$$S_\tau = k\tau \log a + k\tau \log n + k\int_0^\tau \log \sin \frac{2\pi t}{\tau}\, dt$$

wovon das erste den von der Amplitude, das zweite den von der Schwingungszahl oder Schwingungsdauer, das dritte den von der Periodicität der Schwingung abhängigen Theil des Massausdruckes darstellt. Setzt man die Phase $\frac{2\pi t}{\tau} = \xi$, so geht das letzte Glied über in

$$\frac{k\tau}{2\pi}\int_0^{2\pi} \log \sin \xi\, d\xi$$

Das bestimmte Integral $\int_0^{2\pi}$ aber, welches den von der Periodicität rein abhängigen, von der Grösse der Schwingungsdauer unabhängigen, Theil des Massausdruckes, multiplicirt mit dem constanten Factor $\frac{k\tau}{2\pi}$, darstellt, ist

$$\int_0^{2\pi} \log \sin \xi\, d\xi = 2\pi \log \frac{1}{2}$$

wonach der ganze Massausdruck für die Empfindungssumme S_τ während einer Schwingung von der Dauer τ ist

$$S_\tau = k\tau\left(\log a + \log n + \log \frac{1}{2}\right) = k\tau \log \frac{an}{2}$$

Dividirt man diesen Ausdruck mit τ, wodurch man statt der Empfindungssumme die Intensität der Empfindung erhält, und setzt $k = 2\pi$, so erhält man als Mass der Intensität

$$2\pi \log \frac{an}{2}$$

oder, wenn man bei der Herleitung $k = 1$ und $\mathfrak{b} = \pi$ setzt, den einfachsten Ausdruck

$$\log an.$$

Wie man zur Form $k \log \frac{an}{a_1 n_1}$ gelangt, wird im 32. Kapitel angegeben.

Die zweite Voraussetzung, dass die Empfindung von der Geschwindigkeits ä n d e r u n g (Geschwindigkeit zweiter Ordnung) abhängt, führt nach einem ganz entsprechenden Gange zu dem-

selben Ausdrucke $2\pi \log \frac{1}{2}$ für das periodische Element insbesondere, als die vorige Voraussetzung, und gibt als definitiven Werth für den ganzen Massausdruck

$$k \log \frac{2\pi^2 a n^2}{\mathfrak{b}}$$

welchen man durch Setzung von $\mathfrak{b} = 8\pi^2 a$ und $k = \pi$ in

$$2\pi \log \frac{n}{2}$$

verwandeln kann, wonach sich dieselbe Construction als nach der vorigen Voraussetzung daran knüpfen lässt.

XXXI. Verallgemeinerung des Massprincips der Empfindung.

Die Massformel, Unterschiedsformel und Unterschiedsmassformel, welche uns zum Masse der Empfindung, Empfindungsunterschiede und empfundenen Unterschiede gedient haben, stützen sich auf das Weber'sche Gesetz und die Thatsache der Schwelle (Reizschwelle und Unterschiedsschwelle), und bleiben richtig, so lange dieses Gesetz und diese Thatsache richtig bleiben.

Inzwischen haben wir anerkennen müssen, dass das Weber'sche Gesetz, wenn auch wahrscheinlich von unbegränzter Allgemeinheit und Gültigkeit in Beziehung auf die inneren psychophysischen Bewegungen, doch in seiner Beziehung auf den äusseren Reiz nur in den Gränzen mittler Erregbarkeit als gültig anzusehen ist und mancherlei Störungen und Complicationen unterliegt, unter gewissen Verhältnissen sogar seine Gültigkeit ganz verliert.

Aus diesem Gesichtspuncte ist die Behauptung und Verwerthung einer schon früher gemachten Bemerkung wichtig, dass nur jene Formeln, aber nicht das Princip unseres Masses ihre Gültigkeit auf die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes stützen, dass vielmehr nach demselben Principe nur mittelst anderer Formeln eben so gut ein Mass der Empfindungen, Empfindungsunterschiede und empfundenen Unterschiede gewonnen werden kann, indem das Wesentliche, worauf sich unser Princip in seiner vollen Allgemeinheit stützt, nur die Möglichkeit ist, die Gleichheit kleiner Aenderungen, Zuwüchse der Empfindung für gegebene Reizzuwüchse in verschiedenen Theilen der Reizskala zu constatiren, wofür uns nicht nur eine, sondern drei gute Methoden zu Gebote stehen. Indem wir die ganze Empfindung aus constanten Zuwüchsen $d\gamma$ von Null an, welche

als Function zugehöriger Reizzuwüchse $d\beta$ in den verschiedenen Theilen der Reizskala bestimmt sind, erwachsen denken, erhalten wir den Masswerth der ganzen Empfindung γ durch Summation ihrer Zuwüchse von Null bis zum Werthe γ, welcher einem gegebenen Reize β entspricht, oder allgemeiner den Unterschied $\gamma - \gamma'$ zweier Empfindungen γ, γ', welche den Reizen β, β' entsprechen, als Summe der in das zugehörige Intervall fallenden Zuwüchse. Des Näheren stellt sich diess so:

Gesetzt, wir haben gefunden, dass derselbe nur eben merkliche Unterschied gespürt wird, wenn wir den Reiz, der allgemein β heisse, von der Grösse β' an um $d\beta'$, von der Grösse β'' um $d\beta''$ u. s. f. wachsen lassen, wobei $d\beta'$, $d\beta''$ sehr kleine, nach der Stelle der Reizskala, in der die Beobachtung geschieht, d. i. nach der Grösse von β veränderliche Reizzuwüchse bezeichnen; so setzen wir allgemein

$$\mathfrak{F}(\beta)\, d\beta = c$$

wo $\mathfrak{F}$ eine zunächst unbekannte Function und c eine Constante bedeutet, und bestimmen die Function $\mathfrak{F}$ so, dass, wenn die zu einander gehörigen Werthe β' und $d\beta'$, β'' und $d\beta''$ u. s. f. in $\mathfrak{F}(\beta)\, d\beta$ substituirt werden, wirklich überall ein constanter Werth c erhalten wird, auf dessen, von der Wahl willkührlicher Einheiten abhängigen, absoluten Werth nichts ankommt. Im Falle des Weber'schen Gesetzes wird der Gleichung genügt sein, wenn β ein constantes Verhältniss zu $d\beta$ behält, mithin

$$\frac{K d\beta}{\beta} = c$$

zu setzen, d. i. $\mathfrak{F}(\beta) = \frac{K}{\beta}$ zu nehmen sein, wo K eine beliebige Constante ist. Stünde bei wachsendem Reize β der Reizunterschied $d\beta$, welcher nöthig ist, einen gleich merklichen Unterschied zu geben, in umgekehrtem statt directem Verhältnisse zu β, so würde $\mathfrak{F}(\beta)$ sein $K\beta$. Entspräche in allen Theilen der Reizskala ein gleich grosser Reizunterschied $d\beta$ der gleichen Merklichkeit, so würde $\mathfrak{F}(\beta)$ sich blos auf K reduciren. Diese drei beispielsweisen Fälle entsprechen also den drei Gleichungen:

$$\frac{K d\beta}{\beta} = c$$
$$K\beta d\beta = c$$
$$K d\beta = c.$$

Nun kann es aber auch der Fall sein, dass sich keine so einfache oder für die ganze Reizskala allgemein gültige Beziehung zwischen

$d\beta$ und β zu einem constanten Werthe findet. Dann ist es doch immer möglich, mittelst einer der bekannten Interpolationsformeln $\mathfrak{F}(\beta)$ für jeden gegebenen Theil der Reizskala, für den man das Mass sucht, nach den in diesem Theile durch Beobachtung gefundenen zu einander gehörigen Werthen β' und $d\beta'$, β'' und $d\beta''$ u. s. w. so zu bestimmen, dass der Bedingung

$$\mathfrak{F}(\beta)\,d\beta$$

gleich einer Constante genügt wird.

Was als constanter Werth auf Seite der Empfindung beobachtet werden kann, ist, genau genommen, nicht ein wahrer Empfindungsunterschied, sondern empfundener Unterschied, wenn wir die seit dem 22. Kapitel eingeführte Unterscheidung von Empfindungsunterschieden im engeren Sinne und empfundenen Unterschieden festhalten. Insofern aber die Empfindungsunterschiede nur als der besondere Fall unter den empfundenen Unterschieden begriffen sind, dass die Empfindlichkeit eine vollkommene wäre, können wir bei denselben Werthen von β und $d\beta$, wo der empfundene Unterschied constant ist, auch den zugehörigen Empfindungsunterschied als constant ansehen, also die Gleichung $\mathfrak{F}(\beta)\,d\beta = c$ solidarisch für kleine Empfindungsunterschiede und empfundene Unterschiede bestehend halten, und $d\gamma$ als kleinen Empfindungsunterschied für c in vorigen Gleichungen substituiren. Diese Solidarität ist vielleicht nicht *a priori* ganz evident, ihre Voraussetzung aber das, was das Mass einerseits möglich macht, andererseits die erfahrungsmässigen Resultate wiedergiebt.

Hat man nun solchergestalt die Gleichung

$$d\gamma = \mathfrak{F}(\beta)\,d\beta$$

mit der Bestimmung von $\mathfrak{F}(\beta)$, so wird man sie als Differenzialgleichung betrachten und als solche integriren können; indem man unter $d\gamma$ einen sehr kleinen constanten Empfindungsunterschied, unter $d\beta$ einen sehr kleinen mit β variablen Reizunterschied versteht. So erhält man den endlichen Unterschied zweier Empfindungen γ, γ', die zwei Werthen β, β' zugehören, unter folgender Form

$$\gamma - \gamma' = \int_{\beta'}^{\beta} \mathfrak{F}(\beta)\,d\beta$$

und die Empfindung γ allein unter der Form

$$\gamma = \int_{b}^{\beta} \mathfrak{F}(\beta)\,d\beta$$

wenn b der Reizwerth ist, bei welchem die Empfindung null wird, welcher Werth allgemein gesprochen null sein oder einen endlichen Werth haben könnte, wovon sich das Letztere nach Erfahrung gültig zeigt.

Hienach geben die drei, oben beispielsweise aufgestellten, Formeln folgendes Ergebniss:

$$\gamma = k \log \frac{\beta}{b}, \text{ wobei } k = \frac{K}{Modulus}$$

$$\gamma = k (\beta^2 - b^2), \text{ wobei } k = \frac{K}{2}$$

$$\gamma = k (\beta - b), \text{ wobei } k = K.$$

Um von dem Empfindungsunterschiede zum empfundenen Unterschiede aufzusteigen, wird man dann denselben Gang einzuschlagen haben, welcher S. 99 an der Functionsform

$$d\gamma = \frac{K d\beta}{\beta}$$

erläutert worden ist, ohne dass diess weiterer Ausführung bedürfen wird.

Man sieht aus Vorigem, dass das Weber'sche Gesetz in der That für das Princip des Empfindungsmasses gar keine wesentliche Bedingung ist; nur die wichtigsten Anwendungen dieses Masses werden sich immer auf diess Gesetz zu stützen und zu beziehen haben.

Das Vorige in Rücksicht genommen, dürfte das Fundament unseres Masses durch eine Wendung nach zwei Seiten in voller Allgemeinheit sicher gestellt sein. Wenn man uns einwendet, die auf Weber's Gesetz gestützte Fundamentalformel, auf die wir unser Mass der Empfindung von vorn herein gründeten, treffe nicht überall streng, in manchen Fällen gar nicht zu, wenn wir sie auf den äusseren Reiz beziehen, so erwiedern wir, dass sie doch in weiten Versuchsgränzen und gerade in solchen, in denen sich die Empfindungen im Durchschnitte halten, zutrifft; und dass es unstreitig nur nöthig sein würde, sie, statt auf Reize, auf die psychophysischen Bewegungen, die dadurch ausgelöst werden, zu beziehen, um sie stets genau zutreffend zu finden. Und wenn man uns einwirft, dass wir hiedurch in das Gebiet der Hypothese gerathen, so erwiedern wir, dass wir uns von aller Hypothese frei machen und alle Abweichungen vom Weber'schen Gesetze decken können, wenn wir, ohne uns an die Fundamentalformel zu binden, in jedem Falle besonders untersuchen, welchen Zuwüchsen

des Reizes in jedem Theile der Reizskala ein constanter Werth empfundenen Unterschiedes entspricht, und dass dann die Allgemeinheit unseres Massprincips ebenso bestehen bleibt.

Einige Beispiele können dienen, diess noch bestimmter herauszustellen.

Im Gebiete der Lichtempfindung hat die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes eine untere Gränze, welche wir darauf geschrieben haben, dass die Lichtempfindung nicht blos vom äusseren Lichtreize β abhängt, sondern abgesehen davon schon die constante Empfindung des Augenschwarz besteht, welche so angesehen werden kann, als wenn sie durch einen inneren Lichtreiz erzeugt würde, der das Aequivalent einer kleinen Grösse äusseren Lichtreizes bildet. Ohne Rücksicht auf diese Vorstellungsweise und Behauptung des Weber'schen Gesetzes aber werden wir den Thatsachen entsprochen finden, wenn wir setzen

$$c = d\gamma = \frac{K d\beta}{a+\beta}$$

wo a eine constante Grösse bedeutet, die zum äusseren Lichtreize hinzuzufügen ist. Durch Integration dieses Werthes erhalten wir als Empfindungsunterschied

$$\gamma - \gamma' = k \log \frac{a+\beta}{a+\beta'}$$

und bei so grossen Werthen von β, β', dass a merklich dagegen verschwindet

$$\gamma - \gamma' = k \log \frac{\beta}{\beta'}$$

Ein anderes Beispiel:

Ich habe Th. I. S. 205 angeführt, dass nach meinen Versuchen die Empfindlichkeit für Temperaturunterschiede gegen die Frostkälte hin in ohne Vergleich rascherem Verhältnisse abnimmt, als dem Weber'schen Gesetze entspricht, und dass man für niedere Temperaturen t in Reaumur'schen Graden den eben merklichen Temperaturunterschied D erhalte, wenn man $(14{,}77 - t)^3$ mit 0,002734*) multiplicirt oder, was dasselbe, mit 365,7 dividirt. Die nach dieser Voraussetzung berechneten Werthe sind S. 206 in Zusammenstellung mit den beobachteten Werthen gegeben.

Nun bin ich keineswegs geneigt, die Formel

$$D = (14{,}77 - t)^3 \,.\, 0{,}002734$$

für mehr als eine, innerhalb gewisser Temperaturgränzen und

---

*) Auf S. 205. Z. 3 v. u. in Th. I. steht fälschlich 0,02734 statt 0,002734.

vielleicht die besondere Individualität des Beobachters und der Versuche approximativ gültige empirische zu halten. Um so besser aber kann sie uns hier dienen, zu zeigen, dass wir in der That mit dem Principe unseres Masses nicht an irgend eine allgemeine gesetzliche Beziehung zwischen Reiz und Empfindung gebunden sind. Sie repräsentirt jedenfalls den Gang der Empfindung bezüglich der Temperatur bei meinen Versuchen.

Der Werth D vertritt uns hier den Werth $d\beta$ und t den Werth β. Wir haben also, indem wir kurz setzen $14{,}77 = T$

$$d\beta = (T - \beta)^3 0{,}002734.$$

Mithin

$$0{,}002734 = \frac{d\beta}{(T-\beta)^3}$$

und, da 0,002734 constant ist, allgemein

$$c = -\,d\gamma = \frac{K d\beta}{(T-\beta)^3}$$

Dass wir hier $d\gamma$ mit negativem Vorzeichen einführen, hängt davon ab, dass der Natur der Sache nach, je nachdem mit Wachsthum von β die Empfindung wächst oder abnimmt, $d\gamma$ mit gleichem oder entgegengesetztem Vorzeichen als $d\beta$ einzuführen ist. Insofern wir es nun hier mit Kälteempfindungen zu thun haben, bei welchen Letzteres gilt, wird auch ein negatives $d\gamma$ einem positiven $d\beta$ zugehörig zu setzen sein. Integriren wir nun vorige Gleichung von $\beta = t'$ bis $\beta = t$, so erhalten wir den zugehörigen Empfindungsunterschied

$$\gamma - \gamma' = \frac{K}{2}\left[\frac{1}{(T-t')^2} - \frac{1}{(T-t)^2}\right]$$

Man kann nun bemerken, dass, wenn man t oder $t' = T$ nehmen wollte, $\gamma - \gamma'$ einen positiven oder negativen unendlichen Werth annehmen würde; was damit zusammenhängt, dass im Uebergange zwischen den Empfindungen der Wärme und Kälte, welcher unstreitig bei T anzunehmen ist, Discontinuität der Function, welche ihr Mass gibt, eintreten muss. Ausserdem reicht die empirische Gültigkeit der Formel nicht bis zum Werthe von $t = T$. In den Gränzen aber, wo sie als gültig anzusehen, kann man mittelst derselben Aufgaben wie folgt lösen: Bei 5^0 ist die Kälteempfindung geringer als bei 0^0, und der Unterschied beider Empfindungen hat eine gewisse Grösse. Natürlich ist der Unterschied grösser zwischen den Empfindungen bei 0^0 und 10^0. Die Formel gibt das Verhältniss dieser beiden oder irgendwelcher anderer dergleichen Unterschiede. Hier ist eine Tabelle über die

verhältnissmässige Grösse dieser Unterschiede, reducirt auf den empfundenen Unterschied zwischen 0° und 1° R. als Einheit.

Empfindungs-Unterschiede $\gamma - \gamma'$	zwischen den Temperaturen
1	0° und 1°
2,24	0 — 2
3,82	0 — 3
5,85	0 — 4
8,55	0 — 5
12,26	0 — 6
17,36	0 — 7
24,99	0 — 8
36,90	0 — 9
57,06	0 — 10

Hienach ist z. B. der Unterschied der Temperaturempfindung von 0° bis 10° (= 57,06) zwischen 6 und 7mal so gross als zwischen 0° und 5° (wo er 8,55), und der Unterschied zwischen 5° und 10° (= 57,06 — 8,55) zum Unterschiede zwischen 0° und 5° wie 48,51 zu 8,55, oder über 5mal so gross. Nimmt man die Differenzen der aufeinanderfolgenden Werthe von $\gamma - \gamma'$, so erhält man die Empfindungsunterschiede für die successiven Temperaturintervalle von je 1° wie folgt:

Empfindungs-Unterschiede $\gamma - \gamma'$	zwischen den Temperaturen
1	0° und 1°
1,24	1 — 2
1,58	2 — 3
2,03	3 — 4
2,70	4 — 5
3,71	5 — 6
5,10	6 — 7
7,63	7 — 8
11,91	8 — 9
20,56	9 — 10

Also wird der Temperaturunterschied zwischen 9 und 10° R. über 20mal so stark empfunden als zwischen 0° und 1° R., vorausgesetzt, dass das Gesetz wirklich bis 0° gültig bleibt, obwohl es nicht ganz so weit durch Versuche verfolgt worden. Und somit verlangsamt sich die Zunahme der Kälteempfindung gegen den Frostpunct hin ausserordentlich.

Diess ist übrigens schon aus der Versuchstabelle selbst einleuchtend. Denn wenn nach ihr bei 4°,6 R. eine Differenz von 2°,8

erfodert wird, um eben so merklich zu sein, als z. B. bei $9^0,15$ R. eine Differenz 0,48 ist, so heisst diess, man muss bei $4^0,6$ um $2^0,8$ fortschreiten (die Temperatur $4^0,6$ in der Mitte des Schrittes liegend gedacht), um die Empfindung einer gleich grossen Temperaturänderung zu erhalten, als wenn man bei $9^0,15$ um $0^0,48$ fortschreitet. Jedoch ist die Grösse dieses nöthigen Fortschrittes nicht als Mass der Empfindung der Temperaturänderung anzusehen, da keine einfache Proportionalität damit stattfindet, sondern nur eine, durch obige Formel ausgedrückte, functionelle Beziehung dazu.

Volkmann hat sich durch Versuche überzeugt, dass die Empfindlichkeit der Haut für Distanzen durch Kälte sehr geschwächt wird. Nun ist interessant zu sehen, dass Kälte so zu sagen auch die Empfindlichkeit für sich selbst schwächt.

XXXII. Die oscillatorischen Reize im Allgemeinen. Versuch einer Elementarconstruction des Empfindungsmasses.

a) Vorerörterungen.

Die wichtigsten Sinnesreize, der Licht- und Schallreiz, sind oscillatorischer Natur, und wie sie auf Oscillationen ruhen, regen sie auch unstreitig oscillatorische Vorgänge in uns an, deren Amplitude und Periode mit der der äusseren Oscillationen in Beziehung steht. Diess giebt der Betrachtung dieser Art Reize eine besondere Wichtigkeit.

Licht- und Schallreiz gelten als constant, so lange die Schwingungszahl n oder damit reciproke Schwingungsdauer τ und die Amplitude a der zu Grunde gelegten Schwingungen, mithin auch das Product n^2a^2 oder $\frac{n^2}{\tau^2}$, d. i. die lebendige Kraft der Schwingungen, durch welche wir die physische Intensität des Lichtes, Schalles, gemessen halten, constant ist. Auch führen wir diese Reize nach den Erfahrungen, auf die sich unsere Formeln des psychischen Masses stützen, als constant in dieselben ein, so lange jene Constanz von n und a besteht. Aber es fragt sich, ob die Werthe n und a das Letzte sind, wohin wir zurückgehen können und zurückzugehen haben, um die fundamentale Abhängigkeit psychischer von physischen Werthen darzustellen.

Die Geschwindigkeit und demgemäss lebendige Kraft einer Schwingung ist nicht wirklich constant während ihrer Dauer, son-

dern wächst von Null an den Gränzen der Oscillation bis zum Maximum beim Durchgange durch die Gleichgewichtslage. Eben so sind die Aenderungen der Geschwindigkeit in auf einander folgenden gleich grossen Zeittheilen nicht gleich gross während der Dauer der Oscillation; sondern beim Durchgange durch die Gleichgewichtslage ist die Aenderung der Geschwindigkeit momentan null, und ein Maximum an den Gränzen der Oscillation.

Um auf das Elementare zurückzugehen, würden wir uns zu denken haben, dass jeder Moment der Schwingung seinen, nur nicht für sich besonders unterscheidbaren, elementaren Beitrag zur ganzen Empfindung giebt, und dass die daraus in endlicher Zeit hervorgehende endliche Empfindungsgrösse als die Summe aller elementaren Beiträge zu repräsentiren sei; allgemeiner, dass die Quantität jeder Empfindung, deren Qualität an eine gewisse Bewegungsform geknüpft ist, nach einem allgemeinen Principe durch Summation des Quantitativen zu finden sei, was die in diese Form eingehenden Bewegungsmomente dazu beitragen, gleichviel, welche Form die ganze Bewegung und Empfindung habe, wie das Volumen und Gewicht eines ganzen Hauses als Summe dessen, was alle einzelnen Steine dazu beitragen, bestimmt werden kann, ohne Rücksicht, welche Form das ganze Haus habe.

Ob nun eine solche Auffassung triftig und nützlich sei, scheint mir *a priori* mit Sicherheit weder behauptet noch widerlegt werden zu können; sondern man muss es damit versuchen, sehen, was dabei herauskommt, und die Entscheidung an die beiden Puncte knüpfen, e r s t e n s, ob wir auch durch die proponirte Summation des Elementaren dieselbe Abhängigkeit der durch eine endliche Zeit sich erstreckenden ganzen Empfindung von der durch diese Zeit sich erstreckenden ganzen Bewegung wiederzufinden vermögen, welche die Erfahrung uns unmittelbar geboten hat, z w e i t e n s, ob wir damit zugleich etwas gewinnen, was wir nicht gewinnen, wenn wir bei den erfahrungsmässigen Gesetzen und Thatsachen stehen bleiben, welche sich unmittelbar auf die Empfindungen und Bewegungen in endlicher Zeit beziehen, d. h. ob wir dadurch besser in den Thatsachen orientirt werden, mehr vom Zusammenhange derselben erfahren, eine Quelle neuer Ableitungen gewinnen; denn wäre es nicht der Fall, so würde der Rückgang auf das Elementare, statt etwas zu fördern, nur eine

erschwerende Weitläufigkeit und ein nutzloses Ausholen von einem rückliegenden Puncte sein.

Ungeachtet der noch grossen Mangelhaftigkeit der folgenden Untersuchung lässt sich doch meines Erachtens Beides, an was die Statthaftigkeit und Nützlichkeit dieses Rückganges geknüpft wird, schon jetzt bejahen. Es zeigt sich, dass sehr wohl eine, und zwar ganz einfache, functionelle Beziehung zwischen den elementaren Bestimmungen der Schwingung und elementaren Empfindungsbeiträgen aufstellbar ist, welche durch Summation zum Resultate der Erfahrung für die ganze Schwingung und eine ganze Folge von Schwingungen zurückführt, indem sich eben sowohl das Weber'sche Gesetz für Stärke als Höhe insbesondere, als die Compensirbarkeit der Stärke durch Höhe und umgekehrt für die Wahrnehmbarkeit des Tones, als die fundamentale Bedeutung des Octavenintervalles dadurch wiederfindet, worauf wir theils im 9., theils 30. Kapitel erfahrungsmässig geführt worden sind, d. i. die Massform $\log an$ oder $\log an^2$ (je nach der Wahl zwischen zwei Voraussetzungen, zwischen denen erst noch zu entscheiden ist) für die Abhängigkeit des Toneindruckes von Stärke oder Höhe, und die Form $2\pi \log \frac{1}{2}$ für die Bedeutung des Octavenintervalles. Auch ist schon S. 189 vorgreiflich in Kürze gezeigt worden, wie sich diess findet. Wenn aber eine unmittelbare Uebereinstimmung der Rechnungsresultate mit der Erfahrung in dieser Hinsicht blos bei Tönen, nicht bei Farben stattfindet, so ist diess kein Widerspruch gegen die Gültigkeit des Rechnungsprincipes, indem ausser anderen im folgenden Kapitel zu besprechenden Gründen, welche dahin deuten, dass nur die Töne, nicht die Farben an so einfache Verhältnisse geknüpft sind, als hier der Rechnung unterzogen werden, das verschiedene Verhältniss beider Empfindungen zu den Rechnungsresultaten selbst eine solche Deutung an sich sehr wohl gestattet.

Nun aber werden wir nicht blos durch diese Elementarconstruction zu erfahrungsmässigen Resultaten zurückgeführt, sondern wir werden zugleich weiter dadurch geführt. Die Erfahrung sagt uns nichts über den Grund der Verknüpfung von Stärke, Höhe und periodischem Elemente in der Skala der Toneindrücke, und lässt uns bisher noch einigen Zweifel über ihre Verknüpfungsweise; unsere Elementarconstruction zeigt ihre gemeinsame Ab-

hängigkeit von den Grundverhältnissen der Schwingung und fodert eine bestimmte Form ihrer Verknüpfung. Indem wir aber hier die Elementarconstruction von einer Seite befriedigend, von anderer Seite föderlich finden, erhalten wir damit zugleich ein Beispiel, dass sich überhaupt etwas mit ihr gewinnen lasse, und können danach erwarten, sie auch in Fällen, wo es sich nicht mehr um einfache Schwingungen oder Schwingungen überhaupt handelt, verwendbar zu finden, womit ein gemeinsames Band für alle psychophysischen Bewegungen hergestellt wäre. Denn wennschon wir in der äusseren Psychophysik uns zunächst nur an den Reiz halten können, wird doch das, was wir auf unsere jetzige Weise finden, in letzter Instanz auf die durch den Reiz ausgelöste psychophysische Bewegung zu beziehen sein, und selbst auf den äusseren Reiz nur insofern seine reine Anwendung finden, als entsprechende Verhältnisse für ihn und die dadurch ausgelöste Bewegung vorausgesetzt werden können.

Unstreitig haben wir hier einen ähnlichen Fall, als in der Physik. So lange wir die Erscheinungen nicht aus dem Elementaren abzuleiten vermögen, behalten wir besondere Gesetze für besondere Erscheinungsgebiete; je weiter wir zum Elementaren zurückzugehen vermögen, um so mehr verknüpfen sich die besonderen Gesetze als besondere Fälle unter allgemeinen Gesetzen, welche den Erfolg für jedwede Combination des Elementaren bestimmen.

Inzwischen schlagen wir den bisher erlangten Erfolg doch nicht zu hoch an. Ich muss anerkennen, dass eine befriedigende Behandlung der Aufgabe bisher doch nur in sehr beschränkten Gränzen gelungen ist, und dass der Versuch einer allgemeineren Lösung derselben an Schwierigkeiten stösst, die zu ihrer Lösung tiefer gehende Untersuchungen fodern würden, als hier vorliegen, und als wozu, so viel ich es übersehen kann, die Mittel bisher vorliegen.

Bevor ich nun auf das Detail der folgenden Untersuchung eingehe, wird Princip und Gang derselben im Allgemeinen darzulegen sein.

b) Allgemeiner Gang der Untersuchung.

Erfahrungsmässig ist die Höhe und Stärke des Tones und der hievon abhängige Gesammteindruck, was wir Intensität nen-

nen, eine Function der Amplitude und der Schwingungszahl oder Schwingungsdauer. Aber diese gelten, wie erinnert worden, für die ganzen Schwingungen. Wenn nun die Aufgabe gestellt wird, den Massausdruck der Empfindung durch Summation dessen, was die einzelnen Momente der Schwingung beitragen, herzustellen, so müssen wir fragen, was sich in jedem einzelnen Momente der Schwingung ändert, wenn sich die Amplitude oder Schwingungszahl oder beides ändert; und müssen den elementaren Beitrag zur Empfindung hievon abhängig machen. Sollten wir nun etwas in den einzelnen Momenten finden, was in directer Proportion mit der Amplitude a und Schwingungszahl n oder einer Potenz dieser Werthe steht, wovon die Empfindung nach einem und demselben Gesetze abhängt, so werden wir auch den elementaren Empfindungsbeitrag in derselben Weise davon abhängig zu machen haben, weil nur unter dieser Voraussetzung durch Summation der elementaren Empfindungsbeiträge das Resultat der Erfahrung für die ganze Empfindung wiedergefunden werden kann.

An was wir hiebei denken können, ist die Geschwindigkeit erster Ordnung v oder die Geschwindigkeit zweiter Ordnung 𝔳, beide im Sinne folgender Einschaltung unterschieden, wovon nach den unter d) anzuführenden Formeln die erste bei gleichbleibender Form der Oscillationen für jeden durch eine bestimmte Phase der Schwingung bezeichneten Moment in einfachem Verhältnisse sowohl zu der Amplitude als Schwingungszahl steht, letztere in einfachem Verhältnisse zur Amplitude, im quadratischen zur Schwingungszahl.

Unter Geschwindigkeit erster Ordnung oder Geschwindigkeit schlechthin, folgends immer mit v zu bezeichnen, verstehe ich den bekannten Verhältnissbegriff zwischen der Grösse des Raumes, der in irgend einer Bewegung durchlaufen wird und der dazu gebrauchten Zeit, d. i. die Geschwindigkeit im gewöhnlichen Sinne, welche constant heisst, wenn in gleicher Zeit, beliebig gross oder klein genommen, immer gleiche Räume durchlaufen werden, veränderlich, wenn es nicht der Fall ist, wovon Ersteres bei der gleichförmigen, Letzteres bei der ungleichförmigen Bewegung statt hat.

Unter Geschwindigkeit zweiter Ordnung, folgends mit 𝔳 zu bezeichnen, verstehe ich den Verhältnissbegriff zwischen der Aenderung der Geschwindigkeit erster Ordnung im Sinne der Kraftrichtung und der Zeit, in welcher diese Aenderung erfolgt, der das Mass der beschleunigenden Kraft im Sinne der Physik und Mechanik darstellt, und als constant gilt, so lange die Geschwindigkeit im Sinne der Kraftrichtung beliebig gross oder klein genommen in gleicher Zeit um gleich viel wächst oder abnimmt,

als veränderlich, sofern es nicht der Fall ist, wovon Ersteres in der gleichförmig beschleunigten oder verzögerten, Letzteres in der ungleichförmig beschleunigten oder verzögerten Bewegung stattfindet.

Um keine Zweideutigkeit über das Verhältniss der hier gebrauchten Begriffe zu lassen, führe ich folgende Stelle aus Poisson's *Traité de Méc.* T. I. p. XIII. (Table de Matières) oder p. 268 (des Textes) an: »Quelle que soit la variation de vitesse d'un point matériel, en grandeur et en direction, pendant un temps infiniment petit, il y a toujours une certaine direction pour laquelle l'augmentation de vitesse est la plus grande, et perpendiculairement à laquelle les composantes de la vitesse ne sont augmentées ni diminuées. Cette direction est ce qu'on entend par la direction de la force qui agit sur un point matériel en mouvement; en partant de cette définition, on démontre que l'accroissement de la composante de la vitesse suivant une direction quelconque, pendant un instant, est uniquement dû à la force qui agit suivant cette direction, et le même, que si les autres forces n'existaient pas.«

Sollte die Aenderung der Geschwindigkeit erster Ordnung schlechthin ohne Bezugnahme auf die in dieser Definition scharf erklärte Kraftrichtung in das Mass der beschleunigenden Kraft oder unsere Geschwindigkeit erster Ordnung eingehen, so würde diese bei der kreisförmigen Planetenbewegung oder kreisförmigen Schwingung Null zu setzen sein, da die Geschwindigkeit v hier absolut genommen constant bleibt. Aber 𝔳 ist nach unserer Identificirung mit dem Masse der beschleunigenden Kraft hier nicht null, sondern constant, indem der bewegliche Körper durch die Kraft nach dem Mittelpuncte der Bewegung in jedem Augenblicke so viel beschleunigt wird, dass die (von einer Zerlegung der Tangentialbewegung abhängige) Centrifugalbewegung dadurch compensirt wird, durch die er sich sonst vom Mittelpuncte der Bewegung entfernen würde.

Es zeigt sich nun nach der folgenden Untersuchung, dass, mögen wir die Voraussetzung einer Abhängigkeit des Elementarbeitrages von v oder 𝔳 zu Grunde legen, das Weber'sche Gesetz für die Abhängigkeit der Höhe wie Stärke der Empfindung von Schwingungszahl und Amplitude, so wie das periodische Element in der Tonskala gleicherweise wiedergefunden wird, so dass von hier aus nichts zu entscheiden ist. Aber indess die Abhängigkeit von v zu einem Massausdrucke der Intensität der Empfindung von der Form $\log an = \log a + \log n$ führt, führt die Abhängigkeit von 𝔳 zu einem Massausdrucke von der Form $\log an^2 = \log a + 2 \log n$. Nun haben wir im 30. Kapitel den ersten Massausdruck als den, wegen seiner grösseren Einfachheit und einfacheren Abhängigkeit von der lebendigen Kraft wahrscheinlicheren, zu Grunde gelegt; und es soll diess auch hier geschehen, und demgemäss die erste Voraussetzung für das Folgende angenommen

werden. Sollte dennoch die zweite Voraussetzung sich in der Folge triftiger erweisen, was unstreitig einmal, wenn nicht durch einfache Versuche, wie den S. 174 proponirten, aber durch einen Zusammenhang von Erfahrungen entscheidbar sein wird*), so würde der Gang der hier nach der ersten zu führenden Rechnung sich doch leicht auf die andere übertragen lassen, und es wird diess selbst schliesslich hier für den ersten und wichtigsten der hier zu behandelnden Fälle geschehen.

Sei also $\mathfrak{F}(v)$ die Function von v, welche die Abhängigkeit zwischen der psychischen Intensität und der Geschwindigkeit v in jedem Momente ausdrückt.

Würde v während der Zeit t constant bleiben, so würde auch $\mathfrak{F}(v)$ und mithin die psychische Intensität während dieser Zeit constant bleiben, und die Empfindungssumme während dieser Zeit durch $\mathfrak{F}(v) . t$ gegeben sein. Allein v und mithin $\mathfrak{F}(v)$ ändert sich während einer Schwingung von Moment zu Moment und kann nur während eines unendlich kleinen Zeitelementes dt als gleichförmig bestehend angesehen werden, in welchem die unendlich kleine Zeitsumme oder der elementare Empfindungsbeitrag ist $\mathfrak{F}(v) . dt$. Summiren wir nun diese der Grösse nach veränderlichen Beiträge, die während einer ganzen Schwingung statt gehabt haben, indem wir v für jeden Moment der Schwingung mit seiner demgemässen Grösse, also als Function von t, zur Bestimmung des Empfindungsbeitrages $\mathfrak{F}(v) . dt$ anwenden, so erhalten wir die Zeitsumme der Empfindung während der ganzen Schwingung, d. i. den Empfindungseffect der ganzen Schwingung während ihrer Dauer, und insofern sich diese Schwingungen von gleicher Beschaffenheit in der Zeit t m-mal wiederholen, ist die Zeitsumme während der Zeit t das m-fache der vorigen. Um die mittlere Intensität der Empfindung während der Zeit t zu erhalten, haben wir dann diese Summe blos mit t zu dividiren, oder, insofern t als Factor in die Empfindungssumme eingehen sollte, wie es sich zeigen wird, diesen Factor zu streichen.

Die Form der Function $\mathfrak{F}(v)$ ist dadurch gegeben, dass die Abhängigkeit der Stärke wie Höhe der Empfindung γ den Ausdruck hat

---

*) Dass ich die auf S. 32 vorgreiflich gefällte Entscheidung zurücknehme, habe ich schon S. 174 bemerkt.

$$\gamma = k \log \frac{\beta}{b}$$

sei es, dass wir unter β die Amplitude oder Schwingungszahl der ganzen Schwingung mit zugehörigem Schwellenwerthe b verstehen. Soll nun der elementare Empfindungsbeitrag eben so von v als die zur ganzen Schwingung gehörige Empfindung von dem mit v proportionalen β abhängen, so haben wir v für β und einen zu v gehörigen Schwellenwerth, der $\mathfrak{b}$ heisse, für b in voriger Formel zu substituiren*), und diesen Ausdruck noch mit dt zu multipliciren, um die unendlich kleine Empfindungssumme während des Zeitelementes dt, d. i. den elementaren Empfindungsbeitrag zu erhalten, dessen Mass hienach sein wird

$$\gamma dt = k \log \frac{\mathrm{v}}{\mathfrak{b}} dt$$

Hierin bedeutet γ die Intensität des Empfindungsbeitrages während des Zeitelementes dt, v die Geschwindigkeit während dieses Zeitelementes, $\mathfrak{b}$ den Schwellenwerth dieser Geschwindigkeit, d. i. den Werth von v, bei welchem der Empfindungsbeitrag auf die Schwelle tritt, k die gewöhnliche Constante.

Diese Formel soll die *Elementarformel* und der Werth $\mathfrak{b}$ die *Elementarschwelle* heissen.

Der Begriff der Elementarschwelle $\mathfrak{b}$ ist nicht daran zu knüpfen, dass, wenn die Geschwindigkeit v momentan über den Werth $\mathfrak{b}$ steigt, auch momentan die Empfindung entsteht, welche wir an die ganze Schwingung geknüpft finden, sondern dass eben nur ein Beitrag zur Bildung dieser Empfindung entsteht, welcher in der Construction des Massausdruckes für die Intensität der ganzen Empfindung als positiver zu verrechnen ist, indess die Beiträge, die durch v unterhalb $\mathfrak{b}$ geliefert werden, als negative zu verrechnen sind, wie alsbald näher betrachtet werden wird. Man wird also im Wesentlichen nur eine mathematische Hülfsgrösse darin zu sehen haben, welche zur Vermittelung der Beziehung zwischen dem Elementaren und Ganzen einzuführen nöthig ist, und die sich schliesslich eliminirt, wie man sehen wird. Will man mehr als diese abstracte Bedeutung daran knüpfen, so dürfte man darin einen Werth von v zu sehen haben, der, so wie er überschritten wird, eine positive Bestimmung des Bewusstseins giebt, die aber sehr wohl in Allgemeinbewusstsein aufgehen kann, ohne sich als

---

*) Auf S. 30 wurde der Buchstabe b dafür beibehalten.

besondere Empfindung geltend zu machen, wenn nicht die Ueberschreitung eine gewisse Grösse erreicht; wie sich denn in der That zeigen wird, dass eine gewisse Grösse der Ueberschreitung dazu nöthig ist.

Vielleicht findet man das Princip, nach welchem die für die ganze Empfindung gültige Function auf den elementaren Beitrag übertragen wird, nicht ganz evident. Auch ist nicht nöthig, eine Evidenz in dieser Hinsicht in Anspruch zu nehmen; man kann die Sache so stellen. Jene Uebertragung bietet sich jedesfalls als diejenige dar, welche zuerst geprüft zu werden verdient; da sie nun nach der folgenden Analyse zu den erfahrungsmässigen Resultaten zurückführt, so hat man bei ihr stehen zu bleiben; wie überhaupt das Grundprincip des ganzen hier eingeschlagenen Ganges dieses ist, diejenigen Annahmen zu stellen, welche nöthig sind, die erfahrungsmässigen Resultate wiederzugeben, und in dieser Hinsicht die an sich einfachsten und natürlichsten Annahmen vor allen anderen zu prüfen.

Die Geschwindigkeit erster Ordnung ändert ihr Vorzeichen mit der Richtung der Schwingung, und die Geschwindigkeit zweiter Ordnung, je nachdem sie sich auf eine Vermehrung oder Verminderung der Geschwindigkeit erster Ordnung in gegebener Richtung bezieht. Hienach finden in den 4 Hauptabtheilungen einer geradlinigen Schwingung folgende Vorzeichen für die Geschwindigkeit erster Ordnung v und die Geschwindigkeit zweiter Ordnung $\mathfrak{v}$ statt:

Phase	v	$\mathfrak{v}$
0°— 90°	+	+
90°—180°	+	—
180°—270°	—	—
270°—360°	—	+

Nun haben wir keinen Grund, der Schwingung in den Abtheilungen mit entgegengesetzten Vorzeichen von v oder $\mathfrak{v}$ verschiedene Wirkung auf die Empfindung beizulegen, und diess nöthigt uns, das Vorzeichen von v oder $\mathfrak{v}$, möchten wir den einen oder anderen Werth in die Elementarformel einführen, als gleichgültig vorauszusetzen, also, sofern wir bei v stehen bleiben, den Ausdruck $k \log \frac{\mathrm{v}}{\mathfrak{b}}$ so zu verstehen oder so zu stellen, dass er bei jedem Vorzeichen von v denselben Werth behält.

Diess erreichen wir entweder dadurch, dass wir $\mathfrak{b}$ stets mit v zugleich das Vorzeichen wechseln lassen, wo dann $\frac{v}{\mathfrak{b}}$ denselben positiven Werth behält, mag v positiv oder negativ sein, oder dass wir mit Rücksicht, dass es gleichgültig ist, ob wir k oder $2k$ für die erste Constante schreiben, die Form $k \log \frac{v}{b}$ als eine blosse Transformation der Form $k \log \left(\frac{v}{b}\right)^2 = 2k \log \frac{v}{b}$ als der eigentlich gültigen betrachten, in welchem Falle der Werth unter dem Logarithmuszeichen als eigentlich quadratisch in jedem Falle positiv bleibt. Da wir nun ohnehin das Mass der ganzen Empfindung vielmehr an den Logarithmus der lebendigen Kraft als der Geschwindigkeit geknüpft haben, ist diese Auffassung nur consequent mit der früheren. Es wird jedoch gleichgültig sein, ob wir uns an die erste oder zweite Auffassung halten wollen; wenn wir nur in jedem Falle $\frac{v}{\mathfrak{b}}$ als positiv behalten, mag v sein Vorzeichen irgendwie wechseln.

Es würde an sich nichts hindern, bei der Aufstellung der Elementarformel statt bis zur Massformel, bis zur Fundamentalformel zurückzugehen, indem man statt des im Zeitelemente dt erfolgenden, von v abhängigen Empfindungsbeitrages die von Vermehrung der Geschwindigkeit v abhängige Vermehrung eines solchen Beitrages in Betracht zöge; aber dadurch eben nur wieder zu der schon aufgestellten Elementarformel zurückgeführt werden, indem die Integration von

$$d\gamma dt = k \frac{dv}{v} dt$$

bezüglich γ eben nur die Formel

$$\gamma dt = k \log \frac{v}{b} dt$$

wiedergiebt.

Der Natur der Sache nach bleibt bei einfachen geradlinigen Schwingungen v nothwendig während eines Theiles der Schwingung unter der Schwelle $\mathfrak{b}$, weil die Geschwindigkeit in jeder geradlinigen Schwingung während des Hin- und Herganges zweimal von Null anhebt und erst bis zu gewissen Gränzen angestiegen sein muss, um den Werth $\mathfrak{b}$ zu erreichen. So lange nun $\mathfrak{b}$ noch nicht erreicht ist, mithin $v < \mathfrak{b}$ ist, ist der ganze Werth $k \log \frac{v}{\mathfrak{b}} dt$ und mithin der elementare Empfindungsbeitrag negativ. Jede solche Schwingung schliesst also mit positiven zugleich negative

Empfindungsbeiträge ein oder kann selbst ganz aus solchen bestehen, wenn wegen zu kleinem a oder n die Elementarschwelle 𝔟 selbst im Maximum von v, d. i. beim Durchgange durch die Gleichgewichtslage nicht erreicht wird. Da im Folgenden öfters auf eine Schwingung wird Bezug zu nehmen sein, bei welcher a, τ, n so beschaffen sind, dass im Maximo der Elementarschwellenwerth 𝔟 nur eben durch v erreicht wird, so soll eine solche Schwingung den Namen der Grundschwingung erhalten, und die Amplitude, Schwingungsdauer und Schwingungszahl derselben, als Grundschwellenwerthe, respectiv mit α, ϑ, ν bezeichnet werden. So wie $\frac{a}{\tau}$ oder an den Werth $\frac{\alpha}{\vartheta}$ oder $\alpha\nu$ überschreitet, beginnt damit nach dieser Begriffsbestimmung ein positiver Empfindungsbeitrag, indem damit die Elementarschwelle 𝔟 überschritten wird, ohne dass diess bemerktermassen schon hinreicht, die an die Schwingung geknüpfte charakteristische Empfindung bemerklich werden zu lassen, wozu nach dem Ergebnisse der folgenden Analyse der Werth $\frac{a}{\tau}$ oder an erst einen in einem angebbaren bestimmten Verhältnisse höheren Werth als $\frac{\alpha}{\vartheta}$ oder $\alpha\nu$ erlangen muss. Die Werthe von a, τ, n, welche erreicht werden müssen, damit die charakteristische Empfindung auf die Schwelle im gewöhnlichen früheren Sinne, wo wir noch nicht auf das Elementare zurückgingen, trete, sollen auch wie früher mit a_1, τ_1, n_1 bezeichnet und diese Schwelle Empfindungsschwelle (respectiv Tonschwelle, Lichtschwelle, je nach dem Empfindungsgebiete) genannt werden.

Nun erhebt sich die wichtige Frage, wie die negativen Beiträge in Verbindung mit den positiven zu verrechnen sind. Hier ist eine Unterscheidung nöthig. Nach dem Th. II. S. 61 aufgestellten Principe können die positiven oder bewussten Empfindungen, die durch Uebersteigen der Empfindungsschwelle in einer gewissen Zeit entstehen, nicht compensirt werden durch die negativen, unbewussten, welche in einer anderen Zeit entstehen, und falls beide eine gleich grosse Zeitsumme gäben, kein Nullzustand der Empfindung dadurch hergestellt werden. Man darf also die Empfindungssumme während einer gewissen Zeit nicht durch die algebraische Summirung der positiven und negativen Empfindungen, die während dieser Zeit statt gehabt, ziehen wollen,

sondern die positive Summe ist besonders ohne die negative zu nehmen, um zu wissen, wie viel Empfindung man überhaupt wirklich gehabt hat. Diess ist evident.

Inzwischen handelt es sich hier nicht wie früher um schon formirte, discrete Empfindungen, sondern solidarisch dazu zusammenwirkende Beiträge, um den Werth, mit dem sich eine Empfindung von gewisser Qualität, je nach den Verhältnissen der dazu beitragenden Momente, über den Grund des Allgemeinbewusstseins erhebt; und hier ist es nicht mehr evident, dass wir die positiven Beiträge dazu ohne die negativen in Rechnung zu nehmen haben; vielmehr liesse sich denken, dass, je grösser in jeder Schwingung die Summe der negativen Beiträge in Verhältniss zur Summe der positiven ist, um so weniger sich die besondere Empfindung über den Grund des Allgemeinbewusstseins erhebt; und dass überhaupt positive und negative Beiträge solidarisch zur Bestimmung der Form und Grösse der an die Schwingung geknüpften besonderen Empfindung beitragen, demnach die Summe der positiven und negativen Beiträge in dieser Beziehung nicht zu sondern, sondern algebraisch zu addiren sei, um das Mass der besonderen Empfindungsleistung zu haben.

Es scheint mir nun wieder schwer oder unmöglich, in dieser Beziehung etwas *a priori* entscheiden zu wollen. Die nachfolgende Untersuchung aber giebt die Entscheidung insofern, als nur unter der letzten hier als möglich aufgestellten Voraussetzung der Erfahrung entsprechende Resultate durch Rechnung wiederzufinden sind. Es zeigt sich, dass, wenn wir die positiven und negativen Beiträge sondern und unter Beiseitelassung der letzteren die Grösse, mit welcher die Empfindung als eigenthümliche ins Bewusstsein tritt, blos nach der Summe der positiven Beiträge bemessen wollten, dem erfahrungsmässigen Weber'schen Gesetze nicht entsprochen werden könnte; was dagegen der Fall ist, wenn wir die algebraische Summe der positiven und negativen Beiträge als massgebend für die dabei zu vergleichende Empfindungsgrösse nehmen. Zugleich gewinnen wir dadurch, dass wir die negativen Beiträge in die Composition der Empfindung selbst mit eingehen lassen, ein Element mehr zur Erklärung qualitativer Unterschiede der Empfindung.

Ich halte daher bis auf Weiteres, falls nicht die ganze Elementarconstruction des Empfindungsmasses fallen oder eine we-

sentlich andere Wendung nehmen soll, als unter der ich sie darzustellen vermöchte, die algebraische Summation der positiven und negativen Beiträge für ein vergleichbares Empfindungsmass nöthig*).

Die folgende Untersuchung beschränkt sich auf folgende 4 Fälle:

1) Einfache geradlinige Schwingungen.

2) Einfache kreisförmige Schwingungen.

3) Die Zusammensetzung zweier geradlinigen Schwingungen von gleicher Amplitude a und Schwingungsdauer τ, welche in dieselbe Richtung fallen und in beliebiger Phase zusammentreffen.

4) Die Zusammensetzung zweier geradlinigen Schwingungen von verschiedener Amplitude a, a' und Schwingungsdauer τ, τ' oder Schwingungszahl n, n', aber gleicher lebendiger Kraft, so dass zwar a verschieden von a' und τ von τ', so wie demgemäss n von n', dass aber $\frac{a}{\tau} = \frac{a'}{\tau'}$ und $an = a'n'$ ist.

Den Fall, dass beliebig viele Schwingungen von gleicher Schwingungsdauer aber beliebiger Amplitude in gleicher Phase und Richtung zusammentreffen, ist es nicht nöthig, besonders zu behandeln, da eine solche Zusammensetzung einer einfachen Schwingung mit einer Amplitude gleich der Summe der componirenden Amplituden ohne Aenderung der Schwingungsdauer und Phase in jeder Hinsicht gleichkommt.

c) Uebersicht der im Folgenden gebrauchten Bezeichnungen.

α) Allgemeine Bezeichnungen.

γ die Intensität eines Empfindungsbeitrages während des Zeitelementes dt;

v die Geschwindigkeit der Schwingung im gewöhnlichen Sinne (erster Ordnung) während des Zeitelementes dt, von welcher γ abhängt;

𝔳 die Geschwindigkeit zweiter Ordnung in dem S. 202 angegebenen Sinne;

*) Zu dieser Ueberzeugung bin ich, nachdem ich früher der entgegengesetzten Ansicht gewesen, erst durch eine neue Revision dieses Gegenstandes gelangt und muss hienach den noch Th. II. S. 63 gebrauchten Ausdruck, dass die Summe der negativen Beiträge einfach ausfalle, für nicht mehr triftig erklären.

𝔟 die Elementarschwelle von v oder 𝔳 in dem S. 205 angegebenen Sinne, je nachdem der elementare Empfindungsbeitrag von v oder 𝔳 abhängig gemacht wird;

S_τ oder S_t die Empfindungssumme, welche während einer Schwingung von der Dauer τ oder durch eine Anzahl Schwingungen während der Dauer t entwickelt wird, wonach die mittlere Intensität der Empfindung während der Zeit t durch Division von S_t mit t erhalten werden kann;

π die Ludolf'sche Zahl oder Länge der halben Kreisperipherie, den Radius $= 1$ gesetzt;

k die gewöhnliche Constante.

β) Für eine einfache geradlinige oder kreisförmige Schwingung:

a die Amplitude;

τ die Schwingungsdauer;

n die der Dauer reciproke Schwingungszahl in solcher Weise, dass überall n für $\frac{1}{\tau}$ und τ für $\frac{1}{n}$ gesetzt werden kann;

G die Maximumgeschwindigkeit beim Durchgange durch die Lage des Gleichgewichtes bei einer einfachen geradlinigen Schwingung, oder die, derselben bei gleicher Amplitude gleiche, constante Geschwindigkeit bei einer kreisförmigen Schwingung;

α, ϑ, ν die Grundschwellenwerthe von a, τ, n in dem S. 208 angegebenen Sinne; d. h. die Werthe von a, τ, n, bei welchen, wenn sie stattfinden, die Geschwindigkeit G eben an die Elementarschwelle 𝔟 reicht;

a_1, τ_1, n_1 die Empfindungsschwellenwerthe von a, τ, n in gewöhnlichem Sinne, d. i. die Werthe von a, τ, n, bei welchen, wenn sie stattfinden, die an die ganzen Schwingungen, um die sich's handelt, geknüpfte besondere Empfindung auf die Schwelle tritt.

γ) Für eine zusammengesetzte geradlinige Schwingung.

Für den Fall der Zusammensetzung zweier geradlinigen Schwingungen zu einer einzigen werden die vorigen Bezeichnungen für beide componirende Schwingungen dadurch unterschieden, dass sie für die eine mit einem Strichelchen oben, für die andere

ohne solches gebraucht werden. 𝔄 sei die Amplitude, 𝔊 die Maximumgeschwindigkeit der resultirenden Schwingung, indess G die Maximumgeschwindigkeit einer componirenden Schwingung ist. Es bezeichnen dann α, ϑ, ν und α', ϑ', ν' die Werthe in den componirenden Schwingungen, bei welchen, wenn sie stattfinden, die Maximumgeschwindigkeit 𝔊 der resultirenden Schwingung der Elementarschwelle 𝔟 gleich wird, a_1, τ_1, n_1 und a'_1, τ'_1, n'_1 die Werthe in den componirenden Schwingungen, bei welchen, wenn sie stattfinden, die ganze, an die resultirende Schwingung geknüpfte, Empfindung auf die Schwelle tritt.

Im Momente, von wo an die Zeit t gerechnet wird, sei c die Zeit, die seit dem Beginne der Schwingung ohne Strich verflossen ist, und c' die, welche seit dem Beginne der Schwingung mit Strich verflossen ist, wenn der Beginn jeder Schwingung bei dem auf derselben Seite gelegenen Maximum der Ausweichung angenommen wird, wonach $\frac{2\pi c}{\tau}$ und $\frac{2\pi c'}{\tau'}$ die Phasen beider componirenden Schwingungen zur Zeit $t = 0$ sind. Endlich sei

$$D = \frac{\pi(c-c')}{\tau}$$

der halbe Phasenunterschied beider Schwingungen.

d) Gleichungen für die Schwingungen, auf denen im Folgenden gefusst wird.

Für eine einfache geradlinige Schwingung hat man (vgl. S. 189)

$$\mathrm{v} = \frac{2\pi a}{\tau} \sin \frac{2\pi t}{\tau} = G \sin \frac{2\pi t}{\tau}$$

Dabei ist der Anfang der Zeit bei dem Puncte gesetzt, wo das Theilchen an den Gränzen der Oscillation ist.

Für eine kreisförmige Schwingung hat man

$$\mathrm{v} = \frac{2\pi a}{\tau} = G$$

Für eine Zusammensetzung zweier geradlinigen Schwingungen von der Amplitude a, a' und Schwingungsdauer τ, τ', welche in dieselbe Richtung fallen und in den Phasen $\frac{2\pi c}{\tau}$ und $\frac{2\pi c'}{\tau'}$ zusammentreffen, hat man

$$\mathrm{v} = \frac{2\pi a}{\tau} \sin \frac{2\pi(t+c)}{\tau} + \frac{2\pi a'}{\tau'} \sin \frac{2\pi(t+c')}{\tau'}$$

Den Werth 𝔳 für eine geradlinige Schwingung so wie Zusammensetzung geradliniger Schwingungen erhält man durch die Gleichung $\mathfrak{v} = \frac{d\mathrm{v}}{dt}$, also für eine einfache geradlinige Schwingung durch

$$\mathfrak{v} = \frac{4\pi^2 a}{\tau^2} \cos \frac{2\pi t}{\tau} = G \cos \frac{2\pi t}{\tau}$$

Bei einer kreisförmigen Schwingung ist

$$\mathfrak{v} = \frac{4\pi^2 a}{\tau^2} = \frac{2\pi}{\tau} G$$

e) Formeln und Resultate, welche aus der Untersuchung hervorgehen.

Unter Zugrundelegung der vorigen Principien, Bezeichnungen und Formeln etc., unter Voraussetzung, dass die Geschwindigkeit erster Ordnung v in die Elementarformel substituirt wird*), fliessen aus der nachfolgenden Herleitung folgende Formeln und Resultate:

1) Für eine einfache geradlinige Schwingung hat man:

$$S_t = kt \log \frac{G}{2\mathfrak{b}} = kt \log \frac{\pi a n}{\mathfrak{b}} \qquad (1)$$

$$= kt \log \frac{an}{2\alpha\nu} \qquad (2)$$

$$= kt \log \frac{an}{a_1 n_1} \qquad (3)$$

Für eine einfache kreisförmige Schwingung:

$$S_t = kt \log \frac{G}{\mathfrak{b}} = kt \log \frac{2\pi a n}{\mathfrak{b}} \qquad (4)$$

$$= kt \log \frac{an}{\alpha\nu} \qquad (5)$$

$$= kt \log \frac{an}{a_1 n_1} \qquad (6)$$

Für eine Zusammensetzung zweier geradlinigen Schwingungen, die in dieselbe Richtung fallen, in welchen nicht nur $an = a'n'$, sondern auch insbesondere $a = a'$, $n = n'$, und bei welchen der halbe Phasenunterschied, wenn sie zusammentreffen, D ist:

$$S_t = kt \log \frac{\mathfrak{G}}{2\mathfrak{b}} = kt \log \frac{G \cos D}{\mathfrak{b}} = kt \log \frac{2\pi a n}{\mathfrak{b}} \qquad (7)$$

$$= kt \log \frac{an}{2\alpha\nu} \qquad (8)$$

$$= kt \log \frac{an}{a_1 n_1} \qquad (9)$$

Für eine Zusammensetzung zweier geradlinigen Schwingungen, die in dieselbe Richtung fallen, in welchen $an = a'n'$, aber a von a' und n von n' verschieden ist, ohne Rück-

*) Das Resultat der Substitution von $\mathfrak{v}$ findet man mit der Herleitung desselben für eine einfache geradlinige Schwingung zum Schlusse des Abschnittes f auf S. 223.

sicht auf einen bestimmten Phasenunterschied beim Zusammentreffen:

$$S_t = kt\log\frac{\mathfrak{G}}{4\mathfrak{b}} = kt\log\frac{G}{2\mathfrak{b}} = kt\log\frac{\pi a n}{\mathfrak{b}} \qquad (10)$$

$$= kt\log\frac{an + a'n'}{4(\alpha\nu + \alpha'\nu')} = kt\log\frac{an}{4\alpha\nu} \qquad (11)$$

$$= kt\log\frac{an + a'n'}{a_1n_1 + a'_1n'_1} = kt\log\frac{an}{a_1n_1} \qquad (12)$$

Bei dem Vergleiehe der für die 4 untersuchten Fälle gefundenen Massausdrücke ist wichtig, sich zu erinnern, dass $\mathfrak{b}$ ein absoluter, nicht nur von a, τ, n, sondern auch von der Schwingungsform unabhängiger Werth ist, wogegen $\alpha\nu$ so wie a_1n_1 zwar von an unabhängig, aber von der Schwingungsform abhängig sind. Wenn man sonach den Grössenwerth der Empfindung S_t bei bestimmtem a und n für verschiedene Schwingungsformen vergleichen will, hat man nur die Formeln anzuwenden, in welche ausser k, t, π blos a, n, $\mathfrak{b}$ eingeht; indess die Formeln, in welche $\alpha\nu$ und a_1n_1 eingehen, nur dienen können, den Grössenwerth der Empfindung für abgeänderte Werthe von a und n bei derselben Schwingungsform zu vergleichen.

2) In sämmtlichen untersuchten Fällen findet sich nach (3), (6), (9) und (12) der erfahrungsmässig gefoderte Ausdruck des Empfindungsmasses, auf welchen die Erörterungen des 30. Kapitels führten, wieder, wenn man S_t mit t dividirt, oder $t = 1$ setzt, und berücksichtigt, dass k im jetzigen Kapitel den doppelten Werth als S. 166 hat. Hierin ist das Weber'sche Gesetz bezüglich a und n und die Compensirbarkeit von a durch n im mehrfach besprochenen Sinne von selbst eingeschlossen.

3) Der Ausdruck für das periodische Element der Tonskala $2\pi\log\frac{1}{2}$ ist in den gegebenen Formeln aus dem S. 188 angegebenen Grunde nicht sichtbar, tritt aber in der schon früher angezeigten Weise bei der Ableitung des Massausdruckes für sich auf.

4) Nach der festgestellten Bedeutung von α und ν (S. 208) wird bei einer einfachen geradlinigen Schwingung die Elementarschwelle erreicht, wenn an den Werth $\alpha\nu$ annimmt, nach der aus unserer Rechnung hervorgegangenen Formel (2) wird die Empfindungsschwelle erreicht, d. h. S_t verschwindet, wenn an den Werth $2\alpha\nu$ annimmt, d. i., wenn die Schwingungszahl ν sich bei gleichem α um eine Octave erhöht.

5) Bei einer kreisförmigen Schwingung fällt der Werth der

Empfindungsschwellen a_1, τ_1, n_1 mit dem der Grundschwellen α_1, τ_1, ν_1 zusammen.

6) Nach dem Vergleiche des Ausdruckes für die geradlinige und kreisförmige Schwingung (unter Rücksicht auf die S. 214 gemachte Bemerkung) stimmt das Empfindungsresultat der kreisförmigen Schwingung seiner Grösse nach mit dem einer geradlinigen Schwingung von gleicher Amplitude und doppelter Schwingungszahl oder von gleicher Schwingungszahl und doppelter Amplitude überein; es geht aber in den Massausdruck für die kreisförmige Schwingung kein von der Periodicität abhängiger Werth ein, und es ist hienach nicht auf gleiche Qualität der Empfindungen zu schliessen. Hienach wird man auch die Tonschwingungen innerlich nicht an kreisförmige Schwingungen geknüpft denken können, wie denn in der That in einer gleichförmigen kreisförmigen Bewegung nichts ist, was eine Periode abgränzte.

7) Von den beiden Fällen der Zusammensetzung zweier geradliniger Schwingungen, welche in Rechnung gezogen sind, und bei welchen $an = a'n'$, scheint der erste, wo zugleich $a = a'$ und $n = n'$, nur ein besonderer Fall des zweiten zu sein, wo a von a', n von n' und mithin τ von τ' irgendwie verschieden gesetzt ist, sofern die Allgemeinheit des zweiten Falles scheint gestatten zu müssen, diesen Unterschied beliebig klein, also auch null zu setzen, und sofern nicht erhellt, warum ein Phasenunterschied einen Einfluss im ersten besonderen Falle gewinnen kann, wenn er im zweiten allgemeinen nicht in Rücksicht kommt.

Hiegegen lehrt ein Blick auf S. 213, dass die Formeln für den ersten Fall nicht wirklich aus denen für den zweiten durch Gleichsetzung von a und a', n und n' ableitbar sind; denn in die Formeln für den ersten Fall geht der halbe Phasenunterschied D ein, der in die Formeln für den zweiten nicht eingeht, und betrachtet man die Formeln des ersten Falles für $\cos D = 1$, wo beide componirende Schwingungen in gleicher Phase zusammentreffen, so hat man

$$S_t = kt \log \frac{\pi an}{\mathfrak{b}}$$

Indess die des zweiten Falles geben

$$S_t = kt \log \frac{\pi an}{2\mathfrak{b}}$$

Nach den Formeln des ersten Falles stimmt also das psychische Resultat der Zusammensetzung seiner Grösse nach mit dem einer

einfachen Schwingung überein, deren Schwingungsproduct $2an$ wäre, nach denen des zweiten mit dem einer einfachen Schwingung, deren Schwingungsproduct nur an wäre.

Der Widerspruch, der hierin zu liegen scheint, ist jedoch nur scheinbar.

Es ist nämlich in Rücksicht zu ziehen, dass die für den zweiten zusammengesetzten Fall aufgestellten Formeln bei ihrer übrigen Allgemeinheit doch nach ihrer folgenden Herleitung voraussetzen, dass der Phasenunterschied der interferirenden Schwingungen nicht constant derselbe bleibt, wie es der Fall ist, wenn $\tau = \tau'$, mithin $n = n'$ ist, so dass dieser Fall ausdrücklich von der Allgemeinheit des zweiten zusammengesetzten Falles zu excipiren ist. Nun liegt zwar für den ersten Anblick etwas ausserordentlich Befremdendes darin, dass eine noch so kleine Abweichung zwischen τ und τ' das psychische Resultat der zusammengesetzten Schwingung auf einmal in so beträchtlichem Verhältnisse gegen den Fall der Gleichheit von τ oder τ' soll reduciren können, wie es S. 215 angegeben ist, und aus dem Vergleiche der Formeln des ersten und zweiten zusammengesetzten Falles folgt. Es scheint diess dem Princip der Continuität geradezu zu widersprechen, und ich glaubte längere Zeit, es müsse ein Rechnungsfehler in der Ableitung der Formeln obwalten, was nach sorgfältigster Revision derselben sicher nicht der Fall ist. Eine genaue Erwägung zeigt aber auch, dass hier nichts Widervernünftiges vorliegt. Man muss nämlich bedenken, dass, wenn die Schwingungsdauern τ, τ' noch so wenig verschieden sind, im Laufe vieler Schwingungen — für welche die Summation bei vorigem Resultate in der That vorausgesetzt ist, — nothwendig nach und nach auch alle Grade der Abweichung und Entgegensetzung der Phasen durchschritten werden müssen, indess bei gleichbleibendem Phasenunterschiede, welcher an die Gleichheit zwischen τ und τ' geknüpft ist, diess nicht der Fall sein kann.

Auch führt die Interferenz schon in Betreff der physischen Intensität, welche ihr Mass in der lebendigen Kraft der Schwingungen hat, zu einem entsprechend paradoxen Resultate, als wir hier bezüglich der psychischen Intensität finden. Nach den bekannten Interferenzregeln geben zwei in der Schwingungsdauer übereinstimmende geradlinig schwingende Stralen von gleicher Phase und Amplitude einen zusammengesetzten Stral, dessen physische Intensität doppelt so gross ist, als die Summe der Intensitäten seiner Componenten, also $4i$ ist, wenn die Intensität jeder Componente i ist. Wenn

aber die beiden Stralen noch so wenig in der Schwingungsdauer abweichen, so sinkt die Summe $4i$ auf $2i$, und allgemein ist die Summe der physischen Intensitäten zweier geradlinig schwingenden Stralen von gleicher Amplitude, aber verschiedener Schwingungsdauer, welchen die Intensitäten i, i' zukommen, $= i + i'$, wobei die Phase, in der sie zusammentreffen, gleichgültig ist.

Dieses Resultat ist von Grailich*) streng erwiesen und die Sonderbarkeit, die hierin liegt, schon hervorgehoben worden, indem er sagt:

»Die Intensität des (aus zwei geradlinig schwingenden Stralen von gleicher Amplitude und verschiedener Schwingungsdauer) resultirenden Strales ist gleich der Summe der Intensitäten der componirenden... Es ist dieser Satz darum merkwürdig, weil bei der Interferenz von zwei homogenen Stralen von gleicher Phase und Amplitude die Intensität des neuen Strales das Doppelte der Summe der Intensitäten seiner Componenten wird; die gegenseitigen Verzögerungen, die aus der Ungleichheit der Wellenlängen entspringen, zehren gerade die Hälfte der aufgewendeten Kraft auf, die relative Länge der Wellen sei welche immer.«

8) Wenn statt der algebraischen Summe der positiven und negativen Empfindungsbeiträge blos die positiven Beiträge zum Masse der Zeitsumme der Empfindung dienen sollten; so würde man die besonders bestimmte Summe der negativen Beiträge von dem Werthe S_t in den obigen Formeln abzuziehen haben, um die der positiven als Rest besonders zu erhalten. Diese Summe der negativen Beiträge ist nun bei einer einfachen geradlinigen Schwingung für den besonderen Fall der Grundschwingung, wo $an = \alpha\nu$, durch $kt \log \frac{1}{2}$ gegeben, was, von $kt \log \frac{an}{2\alpha\nu}$ abgezogen, als Massausdruck lassen würde $kt \log \frac{an}{\alpha\nu}$. Aber nach Massgabe als die Grundschwelle überstiegen wird, ändert sich nothwendig die Summe der negativen Beiträge; es würden daher bei wachsendem a und n immer andere Summen abzuziehen sein, womit das Weber'sche Gesetz nicht bestehen könnte, auch würde die negative Summe für andere Fälle als jenen Gränzfall mit den jetzigen Mitteln der Analyse, so viel ich übersehen kann, nicht besonders bestimmbar sein.

---

*) Sitzungsberichte der Wien. Akad. 1854. S. 805 ff. — Die von Amplitude und Schwingungsdauer oder Undulationslänge zugleich abhängige physische Intensität oder lebendige Kraft des Strals ist von Grailich durch den S. 167 gegebenen Ausdruck bestimmt, und es kommt der daselbst angezeigte Irrthum bei der Herleitung obigen Resultates nicht in Betracht.

f) Herleitung der Formeln.

Ich gebe diese Herleitung zuerst für die Voraussetzung, dass die Geschwindigkeit erster Ordnung v für β in die Massformel zu substituiren sei, um die Elementarformel zu erhalten, mithin diese sei:

$$\gamma d t = k \log \frac{\mathrm{v}}{\mathfrak{b}} d t.$$

Im Falle einer einfachen geradlinigen Schwingung haben wir nach S. 212

$$\mathrm{v} = \frac{2\pi a}{\tau} \sin \frac{2\pi t}{\tau} = G \sin \frac{2\pi t}{\tau}$$

wonach S_τ gegeben ist durch

$$S_\tau = \int_0^\tau \gamma d t = k \int_0^\tau \log \left(\frac{2\pi a}{\mathfrak{b}\tau} \sin \frac{2\pi t}{\tau} \right) d t$$

Durch Zerlegung des Logarithmus des Productes in die Summe der Logarithmen der Factoren geht dieser Ausdruck über in

$$S_\tau = k \int_0^\tau \log \frac{2\pi a}{\mathfrak{b}\tau} d t + k \int_0^\tau \log \sin \frac{2\pi t}{\tau} d t = k\,(P + Q)$$

wenn wir die beiden Integrale, in die sich S_τ zerlegt, respectiv mit kP, kQ bezeichnen.

Das Integral P ist

$$P = \tau \log \frac{2\pi a}{\mathfrak{b}\tau} = \tau \log \frac{G}{\mathfrak{b}}$$

Um auch Q zu finden, transformiren wir das Integral, indem wir setzen

$$\frac{2\pi t}{\tau} = \xi, \text{ mithin } d t = \frac{\tau d \xi}{2\pi}$$

So erhalten wir

$$Q = \frac{\tau}{2\pi} \int_0^{2\pi} \log\,(\sin \xi)\, d\xi$$

wofür sich substituiren lässt

$$Q = \frac{2\tau}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \log\,(\sin \xi)\, d\xi$$

da die ganze Schwingung sich in 4 gleiche Abtheilungen zerlegt.

Das bestimmte Integral $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \log\,(\sin \xi)\, d\xi$ ist aber eben so

wie $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \log(\cos\xi)\, d\xi$ nach Euler gleich $\frac{\pi}{2} \log \frac{1}{2}$. Mithin erhalten wir den, von der reinen Periodicität abhängigen, Factor

$$\int_0^{2\pi} \log(\sin\xi)\, d\xi = 2\pi \log \frac{1}{2}$$

und

$$Q = \tau \log \frac{1}{2}$$

Also:

$$S_\tau = k(P+Q) = k\tau\left(\log\frac{G}{\mathfrak{b}} + \log\frac{1}{2}\right)$$
$$= k\tau \log\frac{G}{2\mathfrak{b}} = k\tau\log\frac{\pi a}{\mathfrak{b}\tau} = k\tau\log\frac{\pi a n}{\mathfrak{b}}$$

Denken wir uns nun eine Schwingung von solcher Amplitude α und Dauer ϑ, oder Zahl ν, dass im Maximum der Geschwindigkeit der Elementarschwellenwerth $\mathfrak{b}$ stattfindet, so haben wir

$$\mathrm{v} = \frac{2\pi a}{\vartheta} \sin\frac{2\pi t}{\vartheta}$$

und da das Maximum stattfindet, wenn der Sinus $= 1$, so ist dieser Maximumwerth von $\mathrm{v} = \frac{2\pi\alpha}{\vartheta} = 2\pi\alpha\nu$ und dieser Werth also für $\mathfrak{b}$ substituirbar, wodurch wir erhalten:

$$S_\tau = k\tau\log\frac{a\vartheta}{2\alpha\tau} = k\tau\log\frac{an}{2\alpha\nu}$$

Eine Zeit $t = m\tau$, welche m Schwingungen von der Dauer τ befasst, wird das $m$fache von S_τ geben; wonach man hat

$$S_t = kt\log\frac{a\vartheta}{2\alpha\tau} = kt\log\frac{an}{2\alpha\nu}$$

Indem endlich der Werth von an, bei welchem S_t verschwindet, das Schwellenproduct $a_1 n_1$ giebt, stimmt dieses mit $2\alpha\nu$ überein und kann dafür substituirt werden, so dass man schliesslich hat

$$S_t = kt\log\frac{an}{a_1 n_1}$$

Im Falle einer kreisförmigen Schwingung haben wir nach S. 212

$$\mathrm{v} = \frac{2\pi a}{\tau} = G$$

mithin

$$S_t = k\int_0^t \log\frac{G}{\mathfrak{b}}\, .\, dt = kt\log\frac{G}{\mathfrak{b}} = kt\log\frac{2\pi\alpha}{\mathfrak{b}\tau}$$

Für den Werth $\mathfrak{b}$ lässt sich der Werth v in einer kreisförmigen Schwingung substituiren, deren Werthe α, τ, ν so beschaffen sind, dass v gerade gleich $\mathfrak{b}$. In einer solchen Schwingung ist

$$\mathfrak{b} = \frac{2\pi\alpha}{\vartheta} = 2\pi\alpha\nu$$

Wonach

$$S_t = kt \log \frac{a\vartheta}{\alpha\tau} = kt \log \frac{an}{\alpha\nu}$$

Die Werthe α, ϑ, ν fallen hier mit den Schwellenwerthen a_1, τ_1, n_1 unmittelbar zusammen, so dass sie in vorigen Formeln dafür substituirt werden können.

Für den Fall der Zusammensetzung zweier geradlinigen Schwingungen von den Amplituden a, a' und Schwingungsdauern τ, τ', welche in dieselbe Richtung fallen und in den Phasen $\frac{2\pi c}{\tau}$ und $\frac{2\pi c'}{\tau'}$ zusammentreffen, hat man allgemein den S. 212 angegebenen Werth v. Ich weiss die Gleichung $k\int_0^\tau \log\frac{\mathrm{v}}{\mathfrak{b}}\,dt$ bei Substitution dieses Werthes v nicht allgemein zu integriren; doch kann es für die auf S. 210 unter 2) und 3) angezeigten Hauptfälle geschehen.

Sei also zuvörderst $a = a'$ und $\tau = \tau'$, so verwandelt sich der Werth v in

$$\mathrm{v} = \frac{2\pi a}{\tau}\left[\sin\frac{2\pi(t+c)}{\tau} + \sin\frac{2\pi(t+c')}{\tau}\right]$$

Nach der bekannten trigonometrischen Gleichung

$$\sin p + \sin q = 2\sin\tfrac{1}{2}(p+q)\cos\tfrac{1}{2}(p-q)$$

aber lässt sich dieser Ausdruck in folgenden verwandeln

$$\mathrm{v} = \frac{4\pi a}{\tau}\cos D \sin\frac{2\pi(t+C)}{\tau}$$

wenn D der halbe Phasenunterschied $= \frac{\pi(c-c')}{\tau}$ und $C = \frac{c+c'}{2}$. Da der Anfang der Zeit willkührlich ist, verlegen wir ihn so weit rückwärts, dass die von dem neuen Anfangspuncte gerechnete Zeit $t' = t + C$ ist, mithin $t = t' - C$, wodurch sich C im Werthe von v hebt. Indem wir dann wieder t' mit t vertauschen, da die Bezeichnung gleichgültig ist, erhalten wir

$$\mathrm{v} = \frac{4\pi a}{\tau}\cos D\sin\frac{2\pi t}{\tau} = \mathfrak{S}\sin\frac{2\pi t}{\tau}$$

Die Empfindungssumme während der Zeit t ist hienach

$$S_t = k\int_0^t \log\frac{\mathrm{v}}{\mathfrak{b}}\,dt = k\int_0^t \log\frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{b}}\,dt + k\int_0^t \sin\frac{2\pi t}{\tau}\,dt$$

Wird dieser Ausdruck wie die vorigen behandelt, so hat man

$$S_t = kt\log\frac{\mathfrak{S}}{2\mathfrak{b}} = kt\log\frac{2\pi a\cos D}{\mathfrak{b}\tau}$$

Denken wir uns nun eine resultirende Schwingung mit solchen Werthen a, τ, n der componirenden Schwingungen, dass im Maximo die Elementarschwelle $\mathfrak{b}$ erreicht wird, und nennen diese Werthe wie bisher α, ϑ, ν, so haben wir

$$\mathfrak{b} = \frac{4\pi\alpha \cos D}{\vartheta} = 4\pi\alpha\nu \cos D$$

hienach

$$S_t = kt \log \frac{an}{2\alpha\nu}$$

Betrachten wir endlich den Fall, dass a von a' und τ von τ' verschieden, aber immer noch $\frac{a}{\tau} = \frac{a'}{\tau'}$ und mithin $an = a'n'$ ist; wonach die Maximumgeschwindigkeit $G = \frac{2\pi a}{\tau} = \frac{2\pi a'}{\tau'}$ für beide gleich ist, so ist

$$\mathrm{v} = G\left(\sin\frac{2\pi(t+c)}{\tau} + \sin\frac{2\pi(t+c')}{\tau'}\right)$$

Verwandeln wir die Summe der Sinus wieder in ein Product aus Sinus und Cosinus, so erhalten wir

$$\mathrm{v} = 2G\left[\sin\left(\frac{2\pi t}{\mathfrak{T}} + C\right)\cos\left(\frac{2\pi t}{\mathfrak{t}} + C'\right)\right.$$

worin

$$\frac{1}{\mathfrak{T}} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\tau} + \frac{1}{\tau'}\right)$$

$$\frac{1}{\mathfrak{t}} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau'}\right)$$

$$C = \pi\left(\frac{c}{\tau} + \frac{c'}{\tau'}\right)$$

$$C' = \pi\left(\frac{c}{\tau} - \frac{c'}{\tau'}\right)$$

Verwandeln wir dann im Ausdrucke von $\log\frac{\mathrm{v}}{\mathfrak{b}}$ den Logarithmus des Productes in eine Summe von Logarithmen, und setzen

$$\frac{2\pi t}{\mathfrak{T}} + C = \xi,\quad \frac{2\pi t}{\mathfrak{t}} + C' = \zeta$$

so erhalten wir

$$\begin{aligned}\gamma dt = k\log\frac{\mathrm{v}}{\mathfrak{b}}dt = k\log\frac{2G}{\mathfrak{b}}dt \\ + \frac{k\mathfrak{T}}{2\pi}\log\sin\xi d\xi \\ + \frac{k\mathfrak{t}}{2\pi}\log\sin\zeta d\zeta\end{aligned}$$

Integriren wir nun diesen Ausdruck von $t = 0$ bis $t = m\mathfrak{t}\mathfrak{T}$, indem wir m so nehmen, dass sowohl $m\mathfrak{t}$ als $m\mathfrak{T}$ eine ganze Zahl, was bei freigestellter Grösse von m immer mit beliebiger Approximation zu erreichen ist, so giebt das erste Glied direct

$$km\mathfrak{t}\mathfrak{T}\log\frac{2G}{\mathfrak{b}}$$

Das Integral des zweiten Gliedes ist von $\xi = C$ bis $\xi = 2m\pi t + C$ zu nehmen, wie sich findet, wenn wir in den Werth von $\xi = \frac{2\pi t}{\mathfrak{T}} + C$ für t an der ersten Gränze substituiren 0, an der zweiten $m\mathfrak{t}\mathfrak{T}$. Da nun aber $m\mathfrak{t}$ eine ganze Zahl, mithin $2m\mathfrak{t}\pi$ einer ganzen Zahl voller Kreisumfängen gleich ist, so stimmt, wenn ξ als Kreisbogen betrachtet wird, nach der Natur der Kreisfunctionen, das von $\xi = C$ bis $\xi = 2m\mathfrak{t}\pi + C$ genommene Integral mit dem von $\xi = 0$ bis $\xi = 2m\mathfrak{t}\pi$ genommenen überein, und wir können C streichen. So bleibt für das zweite Glied übrig

$$\frac{k\mathfrak{T}}{2\pi}\int_0^{2m\mathfrak{t}\pi} \log\sin\xi d\xi$$

Da wir nun ferner nach der Natur der Kreisfunctionen setzen können

$$\int_0^{2m\mathfrak{t}\pi} = 4m\mathfrak{t}\int_0^{\frac{\pi}{2}}$$

so geht diess Glied über in

$$\frac{2m\mathfrak{t}\mathfrak{T}}{\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \log\sin\xi d\xi$$

welches mit Rücksicht auf den früher angegebenen Werth $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \log\sin\xi d\xi = \frac{\pi}{2}\log\frac{1}{2}$ sich auf

$$m\mathfrak{t}\mathfrak{T}\log\frac{1}{2}$$

reducirt. Das dritte Glied giebt nach gleicher Behandlung denselben Werth, mit Rücksicht, dass der Werth $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \log\cos\zeta d\zeta$ ebenfalls $\frac{\pi}{2}\log 2$. Addiren wir nun die so erhaltenen drei Integrale und ersetzen den Ausdruck für die Zeit $m\mathfrak{t}\mathfrak{T}$ durch t, so erhalten wir

$$S_t = kt\left(\log\frac{2G}{\mathfrak{b}} + 2\log\frac{1}{2}\right) = kt\log\frac{G}{2\mathfrak{b}}$$

mit Rücksicht, dass $2\log\frac{1}{2} = \log\frac{1}{4}$.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass, wenn $\tau = \tau'$ wäre, der Werth $\mathfrak{t} = \frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau'}$ null werden und hiemit das dritte Glied, was in die Summe eingeht, wegfallen, man also statt $2\log\frac{1}{2}$ nur $\log\frac{1}{2}$

erhalten würde; was den Unterschied des jetzt behandelten vom vorhin behandelten Falle bedingt, wovon S. 215 die Rede war.

Denken wir uns nun eine zusammengesetzte Schwingung unter Beibehaltung der Gleichheit der lebendigen Kräfte ihrer Componenten so beschaffen, dass im Maximo ihrer Geschwindigkeit die Schwelle $\mathfrak{b}$ erreicht werde, so können wir wiederum diese Maximumgeschwindigkeit für $\mathfrak{b}$ substituiren. Seien α, ϑ, ν und α', ϑ', ν' die Amplituden, Schwingungsdauern und Schwingungszahlen der Componenten dieser Schwingung. Das Maximum der Geschwindigkeit v findet statt, wenn die Sinus im Ausdrucke derselben S. 220 zugleich 1 werden, mithin ist für $\mathfrak{b}$ zu substituiren

$$\frac{2\pi\alpha}{\vartheta} + \frac{2\pi\alpha'}{\vartheta'} = 2\pi(\alpha\nu + \alpha'\nu')$$

und, da

$$G = \frac{2\pi a}{\tau} = \frac{2\pi a'}{\tau'} = \frac{\pi a}{\tau} + \frac{\pi a'}{\tau'} = \pi(an + a'n')$$

so erhalten wir jetzt

$$S_t = kt \log \frac{an + a'n'}{4(\alpha\nu + \alpha'\nu')}$$

oder, da $an = a'n'$, $\alpha\nu = \alpha'\nu'$

$$S_t = kt \log \frac{an}{4\alpha\nu}$$

Machen wir jetzt die zweite Voraussetzung, dass in die Elementarformel für β die Geschwindigkeit zweiter Ordnung $\mathfrak{v}$ zu substituiren ist, mithin

$$\gamma dt = k \log \frac{\mathfrak{v}}{\mathfrak{b}} dt$$

zu setzen ist, indem wir uns dabei auf den Fall einer einfachen geradlinigen Schwingung beschränken, wo

$$\mathfrak{v} = \frac{4\pi^2 a}{\tau^2} \cos \frac{2\pi t}{\tau}$$

Wenden wir nun hierauf ganz dieselbe Behandlung an, als früher auf die Substitution von v in die Elementarformel; so erhalten wir

$$S_t = k\int_0^t \log \frac{4\pi^2 a}{\mathfrak{b}\tau^2} + k\int_0^t \log \cos \frac{2\pi t}{\tau}$$

$$= kt \log \frac{4\pi^2 a}{\mathfrak{b}\tau^2} + kt \log \frac{1}{2} = kt \log \frac{2\pi^2 an^2}{\mathfrak{b}}$$

Hierin ist $\mathfrak{b}$ der Werth der Geschwindigkeit zweiter Ordnung $\mathfrak{v}$, bei welchem der Empfindungsbeitrag auf die Schwelle tritt, und wenn α, ϑ, ν die Amplitude, Schwingungsdauer und Schwingungszahl einer Schwingung bezeichnen, bei welcher $\mathfrak{v}$ im Maximum diesen Werth erreicht, haben wir, unter Setzung von

$\cos \frac{2\pi t}{\tau} = 1$ in obigem Ausdrucke von $\mathfrak{v}$: $\mathfrak{b} = \frac{4\pi^2\alpha}{\vartheta^2}$; hienach

$$S_t = kt \log \frac{a}{\alpha} \frac{\vartheta^2}{\tau^2} + kt \log \frac{1}{2} = kt \log \frac{a n^2}{2\alpha\nu^2}$$

g) Allgemeinere Betrachtungen.

Insofern durch die vorigen Formeln und Resultate gesetzliche Beziehungen zwischen Körper und Seele festgestellt werden, sind sie principiell auf die den Empfindungen unmittelbar unterliegenden, also psychophysischen Bewegungen zu beziehen, und würden insofern vielmehr in die innere als die äussere Psychophysik gehören. Aber sie stützen sich unmittelbar auf Erfahrungen, die der äusseren Psychophysik angehören, sofern die Elementarformel, von der sie abhängen, nur eine Uebersetzung der Massformel, welche in der äusseren Psychophysik gewonnen wurde, ins Elementare ist, und sie können directe Bewährungen nur in der äusseren Psychophysik suchen, d. i. indem wir sie mit den äusseren Bewegungen vergleichen, wodurch die inneren angeregt werden, da wir die inneren selbst nicht unmittelbar beobachten können, wonach sie als eins der Uebergangs- oder Vermittelungsglieder zwischen der äusseren und inneren Psychophysik an den Schluss dieses Hauptabschnittes der ersteren gestellt sind.

Eine directe Bewährung von Formeln und Resultaten, die sich principiell auf die inneren Bewegungen beziehen, an den äusseren Bewegungen kann aber natürlich nur nach Massgabe erwartet und gesucht werden, als eine Uebereinstimmung beider Bewegungen stattfindet. Die Untersuchung, inwiefern die directe Bewährbarkeit vorhanden ist, kann daher aus einem doppelten Gesichtspuncte geschehen.

Unter Voraussetzung, dass die inneren und äusseren Bewegungen schlechthin übereinstimmen, würde eine solche Untersuchung nichts Anderes als die Untersuchung sein, ob die vorigen Formeln und mithin Principien, aus denen sie abgeleitet sind, überhaupt triftig sind. Denn wären sie es, so müssten sich alle Verhältnisse zwischen Empfindung und Bewegung, welche aus den vorigen Formeln fliessen, schon in den Beziehungen der Empfindung zu den äusseren Bewegungen bestätigen, und wo es nicht der Fall, wäre damit die Falschheit der Formeln und der Principien, aus denen sie fliessen, erwiesen. Unter Voraussetzung der

gesicherten Triftigkeit dieser Formeln und Principien hingegen würde es die Untersuchung sein, wiefern eine Uebereinstimmung der äusseren und inneren Bewegungen stattfindet. Nun kann die erste Voraussetzung von vorn herein nur bis zu gewissen Gränzen statuirt werden. Die Erregung der Sinnesorgane durch die Reize, mit denen wir es hier zu thun haben, tritt unter den allgemeinen Gesichtspunct, dass eine Schwingungsbewegung in den Medien der Aussenwelt durch Fortpflanzung zu den Medien der Innenwelt Bewegungen hervorruft, die wir nach wahrscheinlichster Voraussetzung selbst unter der Form von Schwingungsbewegungen zu denken haben. Dabei haben die Schwingungsbewegungen in den Medien der Aussenwelt, ehe sie zum Medium des Nervensystemes gelangen — zuvor aber sind sie erfahrungsmässig nicht im Stande, Empfindung zu erwecken, — noch das Medium der äusseren Sinnesorgane zu durchdringen. Nun hängt nach den allgemeinsten Bewegungsgesetzen die Natur der Schwingungsbewegungen, die in einem Medium dadurch erweckt werden, dass sich Schwingungen aus einem anderen dahin überpflanzen, zwar von der Beschaffenheit der erweckenden mit ab, und correspondirt unter Umständen sogar sehr genau damit, wie die Thatsachen und Verhältnisse der Resonanz beweisen, aber nicht allein ab, da vielmehr die Natur des Mediums, unter dessen Zwischenwirkung und an welches die Mittheilung erfolgt, Einfluss darauf hat. Wir kennen die Natur und näheren Bedingungen der Erregung unserer Sinnesnerven keinesweges hinreichend, um *a priori* sagen zu können, wie sich hiebei die erregten zu den erregenden Bewegungen überall verhalten müssen; aber so viel wissen wir doch, dass die Bedingungen complicirter sind, als bei den einfachsten Fällen der Resonanz in der Aussenwelt; selbst bei der vollkommensten Resonanz in der Aussenwelt aber bleibt bei übertragener Schwingungszahl die Form und Amplitude der übertragenen Schwingungen nicht unverändert, sondern durch die besonderen Verhältnisse des resonirenden Systemes und der Uebertragungsweise daran mitbestimmt. Also auf der ersten Voraussetzung lässt sich nicht schlechthin fussen.

Von der anderen Seite sind aber auch die Principien, aus denen die vorigen Formeln und Resultate abgeleitet sind, nicht so sicher *a priori*, dass sie nicht der Stützung durch Erfahrung bedürften, die sich nun aber doch blos an den äusseren Bewegungen

unter Voraussetzung einer Correspondenz mit den inneren gewinnen lässt.

Es ist nicht zu leugnen, dass hieraus eine solidarische Schwierigkeit der Sicherstellung unserer Principien und der Ermittelung des Verhältnisses der äusseren und inneren Bewegungen zugleich erwächst, welche nicht auf den ersten Anlauf vollständig zu überwinden sein wird. Böte nicht überhaupt die Psychophysik grössere Schwierigkeiten als die Physik, so würde sie von jeher gleichen Schritt mit ihr gehalten haben. Meines Erachtens aber darf man sich so gegen die vorliegende Schwierigkeit stellen.

Man untersucht zuerst, ob die Erfahrung, die sich an den äusseren Bewegungen machen lässt, zu den Resultaten der, auf die inneren Bewegungen bezüglichen, Theorie, die sich bis jetzt nur bezüglich sehr einfacher Fälle (in vorigen Formeln) hat aufstellen lassen, etwas in der Art Entsprechendes darbietet, dass das Zusammenstimmen von Theorie und Erfahrung nicht wohl als Zufall angesehen werden kann. Findet sich diess, wie ich glaube, dass es sich im Gebiete der Töne findet, findet man zugleich, dass das, was man von den physischen und physiologischen Bedingungen der Uebertragung der äusseren Bewegungen ins Innere kennt, einem Entsprechen der äusseren und inneren Bewegungen hier in soweit günstig ist, als das Entsprechen zur Bestätigung der Theorie vorauszusetzen ist, wie ich glaube, dass es sich hier ebenfalls findet, so hält man dadurch die Richtigkeit der Theorie und die Correspondenz der äusseren und inneren Bewegungen nach den betreffenden Beziehungen zugleich für wesentlich begründet, und sucht nun, durch welche Erweiterungen oder Nebenbestimmungen entweder der Theorie, oder welche, nach der Sachlage möglichen oder wahrscheinlichen Abweichungen zwischen der Correspondenz äusserer und innerer Bewegungen man die Fälle, wo sich kein so unmittelbares Entsprechen zwischen den Resultaten der Theorie und Erfahrung zeigt, zu decken vermag. Man überlegt endlich, ob irgend eine andere Theorie in allen diesen Beziehungen zulänglicher ist oder mehr leistet, als die angegebene. So wird man, wenn zu keiner absolut gewissen, aber der wahrscheinlichstmöglichen psychophysischen Theorie und zugleich Ansicht über das Verhältniss der äusseren und inneren Bewegungen gelangen, und durch fortgesetzte Prüfung nach allen Richtungen diese Wahr-

scheinlichkeit bis zu dem Grade steigern können, den man der Gewissheit äquivalent setzt.

Indess mir nun die Uebereinstimmung der Theorie mit dem, was wir im Tongebiete finden, gross genug scheint, um aus ersterem Gesichtspuncte Zutrauen für die Grundpuncte der Theorie zu erwecken, fodern die Abweichungen, welche das Gebiet der Farben zwischen Theorie und Erfahrung darbietet, zu einer Untersuchung aus dem zweiten Gesichtspuncte auf, wobei insbesondere die Abweichung der Farben vom Weber'schen Gesetze (Th. I. S. 175) und das Helmholtz'sche Gesetz (Th. II. S. 176) unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen. Hierauf gehe ich im folgenden Kapitel ein. Einen Punct aber will ich gleich hier erörtern.

Die lebendige Kraft einer kreisförmigen Schwingung von der Amplitude a und Dauer τ ist doppelt so gross als die einer geradlinigen Schwingung von gleicher Amplitude und Dauer und ist gleich der lebendigen Kraft einer geradlinigen Schwingung von der Amplitude $a\sqrt{2}$ und Dauer τ*). Auch kann nach den Interferenzregeln ein circulärschwingender Stral von der Amplitude a einen geradlinigschwingenden von der Amplitude $a\sqrt{2}$ bezüglich der Helligkeit vertreten. Nach unseren obigen Formeln (Formel 1 und 4 auf S. 213) ist aber der Empfindungseffect einer kreisförmigen Schwingung von der Amplitude a gleich dem Empfindungseffecte einer geradlinigen nicht von der Amplitude $a\sqrt{2}$, sondern von der Amplitude $2a$; und es können überhaupt bei gleicher lebendiger Kraft der Schwingungen verschieden grosse Empfindungseffecte, je nach der verschiedenen Form der Schwingungen, entstehen, indess, so viel bis jetzt bekannt, eine gleiche lebendige Kraft von Lichtschwingungen bei gleicher Dauer und verschiedener Form einen gleichen Empfindungseffect gewährt.

Denken wir zuvörderst an eine Modification der Theorie, welche zur Hebung dieser Schwierigkeit möglicherweise nöthig

*) Diess findet sich, wenn man die lebendige Kraft, welche während einer Schwingung von der Dauer τ entwickelt wird, nach der Formel

$$\int_0^\tau v^2 dt$$

bestimmt, und dabei für v die S. 212 angegebenen Werthe substituirt. Man erhält so für die geradlinige Schwingung $\frac{2\pi^2 a^2}{\tau}$, für die kreisförmige $\frac{4\pi^2 a^2}{\tau}$.

sein könnte, so liesse sich, allgemein gesprochen, wohl denken, dass die Voraussetzungen, auf die sich die Theorie in der Construction des Empfindungseffectes geradliniger und kreisförmiger Schwingungen insbesondere stützte, in soweit triftig wären, dass für jede Form das richtige Abhängigkeitsverhältniss von *a* und *n* herauskäme, und nur eine Voraussetzung irrig wäre, welche zur Verknüpfung beider Effecte nöthig ist. In der That bedarf es hiezu einer gewissen Voraussetzung; und zwar ist, um die Wirkung verschieden geformter Schwingungen mit einander in Beziehung zu setzen, die Voraussetzung gestellt worden, dass die Empfindung von der Geschwindigkeit in gleicher Weise abhänge, mag dieselbe eine constante Richtung im Raume behalten, wie bei geradlinigen Schwingungen, oder ihre Richtung continuirlich ändern, wie bei kreisförmigen Schwingungen. Diese Voraussetzung ist nicht nur die einfachste, sondern scheint mir auch jetzt noch die wahrscheinlichste, wie denn auch bei Berechnung der lebendigen Kraft der Schwingungen nicht auf eine geänderte Richtung derselben Rücksicht genommen wird, aber sie ist keine an sich evidente, und wenn sich zur Verknüpfung der Thatsachen eine andere nöthig und hinreichend zeigen sollte, so würde sie zu machen sein. Nur gestehe ich, dass es mir nicht geglückt ist, eine solche zu finden, welche zugleich rationell und den Thatsachen entsprechend erschiene; eben so wenig vermöchte ich durch eine Substitution von 𝔳 für v etwas zu gewinnen; und ich halte es daher für wahrscheinlicher, dass die Abweichung zwischen Theorie und Erfahrung hier nicht an einem Fehler der Theorie, sondern einer fehlenden Correspondenz zwischen der Form der äusseren und inneren Bewegungen liegt.

In der That liegt gar kein physikalisches oder physiologisches Princip vor, welches uns überhaupt in irgend einem Falle eine unveränderte Uebertragung der Schwingungs f o r m aus dem Aeusseren ins Innere verbürgte; und auch bei Tönen wird es nicht anzunehmen sein. So sehen wir die Schwingungsform des streichenden Violinbogens sich keinesweges unverändert in eine entsprechende der schwingenden Saite übersetzen; und fände sich eine Saite schon in Bewegung, so würde das Antreffen einer geradlinigen Schwingung nur in dem einzigen Falle wieder eine geradlinige Schwingung in derselben Richtung erzeugen, wenn die Bewegungsrichtung der Saite mit der der Schwingung zusammen-

fiele; sonst würde die Bewegung im Allgemeinen elliptisch, oder kreisförmig, oder geradlinig mit abgeänderter Richtung werden. Unsere Nerven, namentlich Sehnerven, sind aber schon ohne äusseren Reiz in gewisser Weise thätig und insofern einer bewegten Saite vergleichbar. Also wird auch die durch den Lichtreiz erweckte Bewegung nur abändernd in die schon vorhandene eingreifen können.

Wenn nun ein circulär polarisirter Stral mit der Amplitude a einen gleichen Effect bezüglich der Lichtempfindung äussert, als ein geradlinig polarisirter von der Amplitude $a\sqrt{2}$, so heisst diess meines Erachtens nichts Anderes, als, derselbe äussert einen der Grösse nach äquivalenten physischen Impuls in Betreff der Hervorrufung derjenigen Art innerer Bewegungen, auf denen die Lichtempfindung beruht; und überhaupt, wenn Stralen mit verschiedenen Schwingungsformen nach den Interferenzgesetzen äquivalent wirken, so gilt diese Aequivalenz immer nur für den physischen Impuls, den der Nerv zur Erzeugung der ihm eigenthümlichen Bewegungsformen empfängt, ohne dass damit gesagt ist, dass diese Formen sich nach denen des erregenden Strales richten.

Diese Annahme genügt vollständig, alle Abweichungen zu decken, die man etwa zwischen den Resultaten unseres Principes und denen der Interferenzformeln finden könnte.

Hienach wende ich mich zu einigen anderen Puncten von allgemeinerer Wichtigkeit.

Nach den Eingangs gepflogenen Erörterungen knüpft sich das Quantitative der Empfindung an das Quantitative dessen, an dessen Verknüpfungsweise die Qualität der Empfindung hängt. Insofern es sich nun bei dieser Verknüpfung handelt, ob sich gleiche oder ungleiche Bewegungsmomente folgen, und nach welchem Gesetze, welcher Function der Zeit sie sich folgen, scheint es eine Schwierigkeit zu machen, dass wir die gegenwärtige Empfindung durch eine Reihe von Momenten, die nicht in die Gegenwart fallen, mitbestimmt halten müssen, indem in den Moment der Gegenwart doch nur ein Schwingungsmoment auf einmal fallen kann.

Diese Schwierigkeit kann inzwischen nur eine Schwierigkeit der Vorstellung sein und wird durch die Unmöglichkeit über-

boten, die Qualität der Empfindungen von einzelnen Bewegungsmomenten abhängig zu machen. Denn hiemit würde sich weder die Constanz der Empfindung im Laufe einer Schwingung, wo sich die Bewegungsmomente continuirlich ändern, noch die Verschiedenheit der Empfindungen, sofern alle Bewegungen doch gleichartige Bewegungsmomente nur in verschiedener Zusammensetzung enthalten, erklären lassen. Unstreitig ist das Gefühl der Gegenwart selbst schon psychophysisch durch eine gewisse Folge von Momenten fundirt, oder fasst die Seele in diesem Gefühle eine physische Zeitfolge zusammen und verknüpft hiemit das Gefühl des Momentes schon mehrere wirkliche Zeitmomente. Die Seele, kann man sagen, erfüllt überhaupt mit ihrer Thätigkeit die Zeit, wie der Körper durch seine Ausdehnung den Raum; oder psychophysisch, die Form und Grösse der Seelenthätigkeit ist eine verknüpfende Function dessen, was in successiven Zeitelementen geschieht, wie die Form und Grösse des Körpers eine verknüpfende Function dessen, was in juxtaponirte Raumelemente fällt; und es liegt im Begriffe der Zeitextension an sich nichts, was hinderte, ihr diese analoge Stellung psychischerseits, wie dem Raume physischerseits beizulegen. Factisch ist alles Successive in unserer Seele in einer Einheit des Bewusstseins verknüpft, was keinesfalls an einzelnen Momenten hängen kann, sondern nothwendig als eine verknüpfende Function dessen, was in die Succession fällt, anzusehen ist. Muss aber diess für die ganze Bewusstseinseinheit durch die ganze Lebensdauer zugestanden werden, so hindert nichts, es ist vielmehr nur consequent, es auch für eine Empfindungseinheit in kleineren Zeitstrecken zuzugestehen, und es verschlägt nichts, dass wir uns diess nicht in der Vorstellung deutlich machen können, weil die Vorstellung selbst schon eine Zusammenfassung mehrerer Momente voraussetzt, und zerfallen müsste, um ihrer Zusammensetzungsweise zu gewahren.

Will man, so kann man auch sagen: jedes Moment einer Schwingung hinterlässt eine Nachwirkung in der Seele, und indem alle Momente eine solche Nachwirkung hinterlassen, entsteht eine zusammengesetzte Nachwirkung, welche die Empfindung giebt. Nur sagt man dann mit anderen Worten blos eben dasselbe, was wir sagen, wenn wir sagen, dass die Seele mit der Wirkung der gegenwärtigen Momente zugleich die der früheren zusammenfasse; es kann aber für manche Auffassungsweisen der Natur der

Seele bequemer sein, sich der einen als der anderen Ausdrucksweise zu bedienen, worüber wir nicht streiten.

Inzwischen könnte man auch geneigt sein, dem vorigen sächlichen Verhältnisse ein anderes zu substituiren, was aber meines Erachtens vielmehr damit zu verbinden ist, indem diese Verbindung Schwierigkeiten hebt, welche übrig bleiben möchten, wenn man sich an das vorige allein halten wollte, aber andere und wohl grössere Schwierigkeiten einführen würden, wenn man es demselben substituiren wollte.

Unsere Seele verknüpft doch nicht blos Successives, sondern auch Gleichzeitiges, wenn schon in anderem Sinne. Alles, was in unserem psychophysischen Systeme gleichzeitig zur Begründung von Bewusstseinsphänomenen wirkt, und das ist unstreitig ein grosser Zusammenhang von Bewegungen, giebt so gut eine psychisch einheitliche Bewusstseinsresultante, als die zeitliche Aufeinanderfolge dieser Bewegungen, und alle Momente, die während der Dauer der Schwingung eines Theilchens successiv in Nerv oder Gehirn auftreten, treten innerhalb der Länge einer Undulation gleichzeitig an der Reihe der in der Undulationslänge begriffenen Theilchen auf und tragen solidarisch bei, die Empfindung zu geben, da ja ihre Leistung dabei factisch nicht unterschieden werden kann.

Hienach schiene die Schwierigkeit, welche für die Vorstellung besteht, die Bildung einer Empfindung von bestimmtem Charakter auf eine Zusammensetzung successiver Momente zu begründen, ganz einfach dadurch gehoben werden zu können, dass man sie, statt vom Successiven, vom Gleichzeitigen abhängig macht, sofern Dasjenige, was der Mehrheit der Theilchen gleichzeitig begegnet, dem entspricht, was demselben Theilchen successiv begegnet, nur dass es dort räumlich, hier zeitlich explicirt ist. Wir würden daher auch dieselben Formeln, die wir durch eine zeitliche Summation gefunden haben, durch eine räumliche Summation wiederfinden müssen.

Inzwischen ist hiegegen erstens zu bemerken, dass, nachdem die Verknüpfung des Successiven in einem einheitlichen Bewusstsein doch Thatsache bleibt, und nur die solidarische Berücksichtigung dieser Verknüpfung des Successiven mit der des Gleichzeitigen das Seelenleben im Ganzen repräsentiren lässt, kein Grund ist, für die specialen Bewusstseinsphänomene blos die Verknüpfung

des Gleichzeitigen in Betracht zu nehmen. Dazu kommt, dass der volle Ersatz der successiven Bewegungsmomente durch gleichzeitige in unserem Falle streng doch nur möglich sein würde, wenn man die Materie den Raum eben so continuirlich erfüllend denken könnte, als ein Theilchen mit seiner Bewegung die Zeit erfüllt. Aber die exacte Wissenschaft hat guten Grund, die atomistische Ansicht vorzuziehen, wonach es nicht möglich ist, dass in der Länge einer und selbst noch so vieler Undulationen wirklich alle Bewegungszustände, die im Laufe einer Schwingung an demselben Theilchen successiv vorkommen, gleichzeitig sich vorfinden, wenn schon sie einander so nahe liegen können, dass man für eine approximative Rechnung die Discontinuität durch Continuität ersetzt denken kann. Aber es scheint mir sehr misslich, Grundvorstellungen auf Approximationen zu begründen und, wenn doch einmal eine Kreisfunction den genauen Ausdruck für die Bewegung enthält, an die sich eine Empfindung knüpft, den Kreis in Wirklichkeit durch eine noch so grosse endliche Zahl discontinuirlicher Puncte ersetzt denken zu wollen, worauf die betreffende Ansicht hinauslaufen würde. Ich meine vielmehr, dass, sofern eine continuirliche Function den strengen Ausdruck für die betreffende Bewegung gewährt, und diese continuirliche Function sich an jedem Theilchen im Zeitlaufe darbietet, man auch principiell die Betrachtung und Rechnung darauf zu stellen und sie nicht durch eine discontinuirliche im Raume zu ersetzen hat, dass man also die Zeitsumme für jedes Theilchen zu nehmen hat, wie es von uns geschehen ist, diese Zeitsumme aber so oft zu nehmen hat, als es in derselben Weise schwingende Theilchen giebt, die zu derselben Empfindung solidarisch beitragen, d. i. mit der Zahl der Theilchen zu multipliciren hat, was da, wo die Theilchen gleichmässig durch den Raum s verbreitet, mithin der Zahl nach demselben proportional sind, darauf herauskommt, statt einer blossen Zeitsumme S_t eine Zeitraumsumme S_{ts} einzuführen, und in unseren Formeln statt des Factors t den in diesem Sinne verstandenen Factor st anzuwenden.

Nach dieser Auffassung hängt die Intensität der Empfindung wesentlich mit von der Zahl der dazu beitragenden Theilchen ab, und es kann eine grössere Amplitude der Schwingung durch eine grössere Zahl Theilchen, die mit kleinerer Amplitude schwingen, ersetzt werden, wie auch in Betreff der Erzeugung der ob-

jectiven physischen Schallstärke ein stark tönendes Instrument durch eine Mehrheit schwach tönender von gleicher Beschaffenheit ersetzt werden kann, und selbst eine einzige angeschlagene grosse Glocke bei unsichtbar kleinen Bewegungen ihrer Theilchen nur darum so stark tönt, weil sehr viele Theilchen diese Bewegung vollziehen.

Hierin liegt unstreitig eines der wichtigsten Mittel, mit den unsichtbar kleinen Bewegungen in unseren Nerven und Gehirn doch grosse psychische Leistungen hervorzubringen. Wenn blos ein Nerventheilchen innerlich schwänge, so müsste es unstreitig in ungeheurer Amplitude schwingen, um den Glockenton in derselben Stärke wiederzugeben, in der wir ihn jetzt hören, wie es aber auch von jedem Glockentheilchen selbst gälte, sollte es den Ton in gleicher Stärke geben, als ihn die ganze Glocke giebt.

Es scheint ein Wunder, dass unmerklich kleine Schwingungen in unseren Nerven als Kanonendonner, Heulen des Sturmes u. s. w. in unserer Seele wiederklingen können. Zum Theil erklärt es sich, in soweit hier überhaupt Erklärung möglich ist, daraus, dass die Wirkung der schwingenden Nerventheilchen für die Empfindung nicht durch einen, dem Quadrate der Entfernung von uns reciproken, Factor geschwächt ist, da sie in keiner Entfernung von uns sind, sondern dem empfindenden Organe selbst angehören. Aber zum Theil erklärt es sich auch daraus, dass es viele Theilchen sind, die zu derselben Empfindungsleistung beitragen.

Nun kann man fragen, ob sich eine Empfindungsgrösse mit geringerem Aufwande physischer Mittel, d. i. geringerer lebendiger Kraft, auf einen gegebenen Grad steigern lässt, wenn man die Zahl der schwingenden Theilchen oder wenn man die Amplitude vergrössert. In dieser Hinsicht mögen dieselben Formeln massgebend sein, welche im 21. Kapitel bezüglich Vertheilung und Concentrirung des Empfindungsreizes auf mehr oder weniger Puncte entwickelt sind, indem die Vertheilung des Empfindungsreizes auf eine grössere Zahl Puncte des empfindenden Organes selbst eben nichts Anderes als eine grössere Anzahl zur Empfindung beitragender psychophysisch thätiger Puncte repräsentirt. Nur dass es freilich nicht selbstverständlich und bis jetzt nicht erwiesen ist, dass die Grösse der intensiven Empfindungsresultante, zu welcher eine Anzahl nicht discret empfindender Puncte zusammenwirken,

durch die Zahl und Thätigkeitsgrösse dieser Puncte in derselben Weise bestimmt wird, als die Grösse der extensiv explicirten Empfindungssumme, welche von einer Anzahl discret empfindender Puncte geliefert wird, auf welchen Fall sich jene Formeln eigentlich bezogen; indess es von der anderen Seite aber auch sehr wohl denkbar ist, dass der Fall der discret und der nicht discret empfindenden Puncte sich eben blos darin unterscheidet, dass dieselbe Empfindungsgrösse einesfalls sich extensiv explicirt, die sich andernfalls intensiv summirt.

Wenn schon der Schall, den eine Glocke giebt, objectiv als aus dem Schalle, den die Theilchen der Glocke geben, summirt angesehen werden kann; so ist doch zu berücksichtigen, dass die Theilchen einzeln in die Bewegung gar nicht hätten gerathen können, in die sie vermöge ihres Zusammenhanges zu gerathen vermögen. Entsprechend wird es sein in unserem psychophysischen Systeme. Ein Theilchen allein vermöchte sich überhaupt nicht in einer anderen als gleichförmigen Bewegung zu erhalten; damit ein Schwingungszustand entstehe und sich erhalte, müssen mehrere Theilchen sich durch Wechselwirkung dazu bestimmen, und hiemit hängt unstreitig auch das solidarische Zusammenwirken der Theilchen zu derselben Empfindung zusammen, soweit es in unserem psychophysischen Systeme besteht. Nun aber können verschiedene Fälle eintreten. Entweder alle Theile des Systemes, die zu einer Empfindung solidarisch zusammenwirken, vollziehen Bewegungen gleicher Art, nur dass sie sich zu derselben Zeit in verschiedenen Phasen derselben Bewegungsform finden, wie es in der Aussenwelt bei der Fortpflanzung des Lichtes, des Schalles in gleichförmigen Medien ist und wie ich voraussetze, dass es mit den Bewegungen ist, von welchen die Empfindung des Schalles in uns abhängt, weil es wirklich möglich ist, diese Empfindung von der Wiederholung der Bewegungsform schon eines einzelnen Theilchens abhängig darzustellen, ohne dass damit gesagt ist, dass das Theilchen diese Bewegungsform auch als einzelnes würde haben annehmen können. Oder es gehört zum Zustandekommen der Empfindung ein solidarisches Zusammenwirken von Theilchen mit Bewegungen verschiedener Art, und es steht uns frei, hieran bei solchen Empfindungen zu denken, wo jene einfache Voraussetzung nicht mehr genügt.

Alle im Vorigen entwickelten Formeln gewähren nur Mass-

ausdrücke für die quantitative Seite der Empfindung, ohne über die Qualität etwas auszusagen, so dass gleiche Masswerthe bei verschiedenen Bewegungsformen desshalb noch nicht gleiche Empfindungen, sondern nur gleiche quantitative Werthe dieser Empfindungen bedeuten. Unstreitig ist vorauszusetzen und schon früher bemerkt, dass die Form der Empfindungen an der Form der Function hängt, wodurch die Bewegungsmomente verknüpft werden, die zur Empfindung beitragen; aber indem jene Formeln das quantitative Facit für die ganze Folge von Bewegungsmomenten ziehen, an welche sich die Empfindung knüpft, geht die Bezeichnung der Verknüpfungsweise dieser Bewegungsmomente darin verloren, und es ist vielmehr die Form der Function von t, welche das in die Elementarformel eingehende v darstellt, als Ausdruck der Bewegungsform anzusehen, wodurch die Empfindungsform bestimmt wird.

So ist die Qualität der Empfindung, die sich an eine einfache geradlinige Schwingung knüpft, nicht zugleich mit der Quantität durch den Ausdruck $S_t = kt \log \frac{an}{a_1 n_1}$

auf den wir definitiv gekommen sind, als gegeben anzusehen, wohl aber durch den Ausdruck

$$S_t = k \int_0^{\tau} \log \left(\frac{2\pi a}{\mathfrak{b}\tau} \sin \frac{2\pi t}{\tau} \right) dt$$

In letzter tritt die Zerlegbarkeit in drei Momente, ein von a, ein von τ und ein von der periodischen Wiederkehr derselben Bewegungsmomente abhängiges Moment hervor, indess das letzte Moment im ersten Ausdrucke untergegangen ist.

Ein Umstand, der in gewisser Weise direct dafür zu sprechen scheinen könnte, dass der Empfindungsbeitrag im Sinne der Elementarformel vielmehr von der Geschwindigkeit zweiter Ordnung $\mathfrak{v}$ als erster Ordnung v abhängig zu machen, ist folgender: Man weiss, dass ein blosses Durchströmen von Elektricität durch die Organe keine oder bei weitem weniger auffällige Empfindungserscheinungen hervorbringt, als die Abänderung der Stromstärke, und namentlich als der Eintritt und Austritt der Strömung, welche als die stärksten und schnellsten Abänderungen der Stromstärke respectiv in Zunahme und Abnahme angesehen werden können, und dass es überhaupt hiebei wesentlich auf die S c h n e l l i g k e i t der Zunahme oder Abnahme des elektrischen Stromes, kurz auf

die Grösse der Geschwindigkeit zweiter Ordnung ankommt*). Allerdings schweigt die Empfindung im Allgemeinen nicht ganz während des Geschlossenseins der Kette; aber es ist sehr wohl möglich, diese in mässigem Grade fortdauernden Empfindungen von demselben Principe abhängig zu machen, als die stärkeren beim Eintritte und Austritte der Strömung. Denn es ist zu berücksichtigen, dass die periodischen Schwankungen innerhalb des Organismus, die schon der Puls des Blutlaufes mitführen muss, unstreitig auch in der durchströmenden Elektricität beständige Schwankungen erzeugen, und umgekehrt dadurch irgendwie abgeändert werden müssen. Bei Schluss der Kette am Auge sieht man nicht blos einen Blitz im Momente des Schliessens, sondern auch eine schwache Lichterscheinung während der Dauer des Geschlossenseins. Aber wir haben uns zu erinnern, dass man ja sogar schon ohne elektrischen Reiz eine dauernde Gesichtsempfindung im Auge hat, das Augenschwarz, das zuweilen selbst in lebhafte Gesichtserscheinungen umschlägt. So gut nun unter Einwirkung eines constanten Luftstromes die Zunge einer Zungenpfeife, die an sich der Schwingung fähig ist, in dauernde Schwingung versetzt werden kann, wird auch unter Einwirkung eines constanten elektrischen Reizes eine Schwingung in dem dazu geeigneten Sehapparate unterhalten werden können, welche Veränderungen der Geschwindigkeit in sich einschliesst.

Inzwischen scheint mir durch jene Thatsache nur gegen die ohnehin nicht statuirbare Möglichkeit entschieden zu werden, den Empfindungsbeitrag von einer absoluten Geschwindigkeit erster Ordnung abhängig zu machen, aber nicht gegen die Abhängigkeit von einer relativen Geschwindigkeit erster Ordnung. Unstreitig kommen für die inneren Empfindungen jedes psychophysischen Systemes, wie unseres Nervensystemes, blos relative Bewegungen seiner Theile und mithin auch nur relative Geschwindigkeiten in Betracht. Sonst müssten, wenn der Mensch sich mit der Erde bald langsamer, bald schneller um die Sonne bewegt, nach den Veränderungen der Geschwindigkeit, sei es erster oder zweiter, welche hiebei eintreten, auch Aenderungen seines psychischen Zustandes eintreten. Wenn nun die galvanische Strömung gleichförmig wird, so hört hiemit freilich die Beschleunigung und Verzögerung der

*) Vgl. Dubois Unters. Bd. I. S. 258 ff.

Theilchen, aber zugleich auch die relative Bewegung derselben gegen einander auf; indess beim Eintritte und Austritte und jeder Veränderung der Strömung, die doch immer von gewissen Puncten aus angeregt wird, relative Geschwindigkeiten eintreten, bis die Geschwindigkeit aller Theilchen sich ausgeglichen hat. Uebrigens bleibt immer zuzugestehen, dass die Erfahrung noch nicht zwischen v und $\mathfrak{v}$ entschieden hat und die Frage im Grunde noch schwebt.

Wenn die Elementarformel $\gamma dt = k \log \frac{v}{\mathfrak{b}} dt$ oder $\gamma dt = k \log \frac{\mathfrak{v}}{\mathfrak{b}} dt$ sich für die Bewegungen in unserem Nervensysteme allgemein zulänglich zeigen sollte, so würde damit doch noch nicht bewiesen sein, dass von jedem v oder $\mathfrak{v}$ in der Welt ein Empfindungsbeitrag im Sinne dieser Formel abhienge, indem dazu möglicherweise noch Vorbedingungen oder Mitbedingungen erfoderlich sein könnten, wie sie in unserem Nervensysteme vorhanden sein, aber anderwärts fehlen könnten, während man von der anderen Seite natürlich darauf, dass wir keine Empfindungen von Bewegungen ausserhalb unseres Nervensystemes haben, noch keinen Erfahrungsbeweis gründen kann, dass sie ausser uns fehlen, und dass Empfindungen überhaupt nur mittelst eines Nervensystemes möglich sind. Diese Möglichkeiten ausführlich zu discutiren, ist hier nicht der Ort und würde keinen bestimmten Erfolg haben. Nur folgenden Punctes wird zu gedenken sein.

Wir würden uns nicht wohl denken können, dass eine Gesichtsempfindung, Gehörsempfindung so zu sagen im Leeren schwebte, d. h. ohne ein allgemeineres Bewusstsein existirte, das dieselbe hätte. Und so liegt es auch nahe, zu glauben, dass eine einfache Schwingungsbewegung nur insofern Empfindung erwecken kann, als sie in ein allgemeineres System von Bewegungen eingreift, wie das ist, welches unser allgemeines Bewusstsein trägt, und im Leeren schwebend auch keine Empfindung erwecken könnte. Nur dass sie im Leeren auch nicht existiren könnte, da zu ihrer Entstehung selbst schon ein Zusammenhang, eine Wechselwirkung von Theilen gehört, deren Bewegungen im Zusammenhange erfolgen.

Wie dem auch sei, so ist unser Bewusstsein während des Wachens, abgesehen von äusseren Reizen, thätig, was eine von äusseren Reizen unabhängige psychophysische Thätigkeit in uns

voraussetzt. Und wie sie auch beschaffen sei, so kann doch die Geschwindigkeit derselben für irgend einen dabei thätigen Punct (nach irgend einer Richtung zerlegt) nach dem Fourierschen Satze durch eine Reihe periodischer Glieder plus einer Constante dargestellt werden. Sei ihr Werth V, und füge der Reiz den Werth v hinzu.

Wenn es nun gälte, die Verhältnisse des Allgemeinbewusstseins zu bestimmen, ein Mass für dessen Intensität, sein Steigen über oder Sinken unter die Schwelle zu finden, so würde diess (in soweit wir die Bewegung blos nach einer Richtung verfolgen) wahrscheinlich geschehen können, wenn wir $V + v$ statt wie früher blos v in die Elementarformel substituirten, und integrirten. Es liesse sich nicht a priori beweisen, dass zur Erlangung des Massausdruckes für die Empfindung, welche sich an v insbesondere knüpft, v abgesondert von V behandelt werden kann; sondern nur der Erfolg dieser Behandlung lehrt es. Wir haben in der Ableitung unserer Formeln es so angesehen, als wenn v allein bestände, haben auf V nicht Rücksicht genommen, und sind dadurch zu Ergebnissen gelangt, welche der Erfahrung entsprechen.

Specielle Untersuchungen über einige Empfindungsgebiete.

XXXIII. Ueber Licht- und Schallempfindung in Beziehung zu einander.

Die Erörterungen des 30. Kapitels haben uns mehrseitig Veranlassung gegeben, das psychophysische Verhältniss zwischen Tönen und Farben in Betracht zu ziehen, und die Aufgabe nahe gelegt, wo möglich in den thatsächlichen Verhältnissen der physischen Uebereinstimmung und Verschiedenheit, die bei ihnen obwalten, den Grund der psychischen zu entdecken.

Schicken wir der folgenden Untersuchung, die in dieser Beziehung geführt ist, die Betrachtung einiger Verhältnisse, welche die Farben insbesondere angehen, voran, auf welche sich die Untersuchung theils mit zu beziehen, theils zu stützen haben wird.

a) Ueber die Gränzen der Sichtbarkeit der Farben und die Ursachen der Beschränkung dieser Sichtbarkeit.

Bekanntlich hält sich die Sichtbarkeit der Farben innerhalb gewisser Gränzen der Brechbarkeit, mithin Schwingungsschnel-

ligkeit und damit zusammenhängenden Undulationslänge, und es wird sich hier darum handeln, theils diese Gränzen genauer anzugeben, theils zu untersuchen, wovon sie abhängen, ob davon, dass Schwingungen unter und über einem gewissen Grade der Schnelligkeit nach der Natur der uns zu Gebote stehenden Lichtquellen und der Einrichtung des Auges überhaupt nicht bis zur Netzhaut gelangen, oder davon, dass sie unter und über einem gewissen Grade der Brechbarkeit nicht von der Netzhaut percipirt zu werden vermögen, auch wenn sie zu derselben gelangen. Diese Untersuchung kann nur mit Rücksicht auf die Intensitäts-Verhältnisse von Licht und Wärme im Spectrum und die Frage, ob eine wesentliche Identität oder Nichtidentität beider Agentien besteht, geführt werden; auf welche Frage daher hier nothwendig mit einzugehen sein wird.

Als im Allgemeinen bekannt wird vorausgesetzt, dass in einem aus homogenen Farben gebildeten prismatischen Spectrum sich dunkle Linien zeigen, welche für jede Lichtart bestimmten Ursprunges stets zwischen Stralen von derselben Brechbarkeit liegen, daher zur Charakteristik von Stralen gegebener Brechbarkeit dienen können. Die am meisten charakteristischen dieser Linien werden nach der Reihe vom Roth nach dem Violet und ins Ultraviolet hinein mit grossen, von Stokes jedoch und früherhin auch von Helmholtz im Ultraviolet mit kleinen, lateinischen Buchstaben bezeichnet.

Davon liegen*) *A*, *B*, *C* im Roth, *D* im Orange, *E* im Grün, *F* im Blau, *G* im Indig**), *H* im Violet. *I* wird von Fraunhofer als violete Gränze des Spectrum bezeichnet.

Abbildungen des Spectrum nach Fraunhofer vom rothen Ende bis zur Linie *I* finden sich u. a. in Gilb. Ann. LVI. Taf. IV.; Biot's Lehrb. Bd. V. Taf. XXI.; Herschel über das Licht, Taf. V. u. a. a. O. — Eine Abbildung des äussersten violeten und des ultravioleten Spectrumtheiles mit den festen

---

*) Herschel, über d. Licht. §. 419.

**) Diese Angabe nach Herschel. Nach Vergleich der beiden folgenden Tabellen schiene *G* vielmehr noch zum Violet zu gehören, und in Fraunhofer's Spectrumzeichnung liegt *G* mitten zwischen den mit Indig und Violet bezeichneten Stellen. Wegen des allmäligen Ueberganges der Farben und der mit der Stärke des Lichtes variirenden Nüance des brechbaren Spectrumtheiles (Pogg. XCIV, 13) wird hier keine scharfe Bestimmung möglich sein.

Linien giebt Stokes in Pogg. Ann. 4. Ergänz.-B. Taf. I. Fig. 1. (Erläuterung S. 200), eine Abbildung des gesammten Spectrum von Roth bis zum letzten Ultraviolet Esselbach in Pogg. XCVIII. Taf. V. Fig. 6. (Erläuterung S. 514 ff.). Obschon im Stokes'schen Spectrum die Linien des ultravioleten Theiles mit kleinen, im Esselbach'schen mit grossen Buchstaben bezeichnet sind, so entsprechen doch dieselben Buchstaben denselben Linien, wie nicht nur aus dem Vergleiche der Spectra hervorgeht, sondern auch aus einer Angabe Esselbach's in Berl. Ber. 1855. S. 788 zu schliessen ist.

In mehrfacher Beziehung von nützlichem Anhalt für das Folgende werden nachstehende zwei Tabellen sein, deren erste, von Esselbach*), die vom gewöhnlich sichtbaren Spectrum auf das Ultraviolet mit ausgedehnten Bestimmungen desselben über die, den festen dunklen Linien im Spectrum entsprechenden Wellenlängen, zusammengestellt mit den Fraunhofer'schen Bestimmungen, welche nur bis zum Violet reichen, enthält, die zweite, von Helmholtz**) die, auf Esselbach's Bestimmungen mit Zuziehung einiger eigenen Bestimmungen über die Gränzen des Spectrum gegründete, Zusammenstellung der Farben mit Tonhöhen, wenn die Linie A dem Tone G entsprechend und die Wellenlänge des Tons $c = 1$ gesetzt wird, indess die Wellenlängen der Farben in Millimetern, wie in Esselbach's Tabelle ausgedrückt sind.

Tabelle von Esselbach.

Linien des Spectrum	Wellenlängen in Millimetern nach Esselbach	Wellenlängen in Millimetern nach Fraunhofer
A	0,0007617***)	. . . . . .
B	6874	0,0006878
C		6564
D	5886	5888
E	5260	5260
F	4845	4843
G	4287	4291
H		3929
L	3791	
M	3657	
N	3498	
O	3360	
P	3290	
Q	3232	
R	3091	

*) Pogg. XCVIII, 524.

**) Berichte der Berl. Ak. 1855. 761.

***) Diese Bestimmung für A ist hier nach Helmholtz zugefügt, da sie in den Esselbach'schen Bestimmungen nicht enthalten ist.

Tabelle nach Helmholtz.

Ton.	Wellenlänge des Tons	Wellenlänge der Farbe	Beschaffenheit der Farben
Fis	$\frac{64}{45}$	0,0008124	Ende des Roth
G	$\frac{4}{3}$	7617	Roth
Gis	$\frac{32}{25}$	7312	Roth
A	$\frac{6}{5}$	6721	Roth
B	$\frac{10}{9}$	6347	Rothorange
H	$\frac{16}{15}$	6094	Orange
c	1	5713	Gelb
cis	$\frac{24}{25}$	5217	Grün
d	$\frac{8}{9}$	5078	Grünblau
es	$\frac{5}{6}$	4761	Cyanblau
e	$\frac{4}{5}$	4570	Indigblau
f	$\frac{3}{4}$	4285	Violet
fis	$\frac{32}{45}$	4062	Violet
g	$\frac{2}{3}$	3808	Ueberviolet
gis	$\frac{16}{25}$	3656	Ueberviolet
a	$\frac{3}{5}$	3385	Ueberviolet
b	$\frac{5}{9}$	3173	Ueberviolet
h	$\frac{8}{15}$	3047	Ende des Sonnenspectrum.

Ferner wird die allgemeine Thatsache der Fluorescenz als bekannt vorausgesetzt, wonach manche Substanzen (wie saure schwefelsaure Chininlösung oder damit bestrichenes Papier) die Lichtstralen, welche durch sie hindurchgehen oder von ihnen zurückgeworfen werden, in der Brechbarkeit erniedrigen, was die Sichtbarkeit derjenigen Stralen erleichtert, welche die violete Gränze des gewöhnlich sichtbaren Spectrums in der Brechbarkeit überschreiten, indem sie dadurch in Stralen verwandelt werden, welche in die Gränzen der gewöhnlichen Sichtbarkeit eintreten.

Das von Newton gekannte und ohne eigenthümliche Vorsichten sichtbare prismatische Farbenspectrum umfasst nur etwa 1 Quinte.

J. Herschel*) giebt die Undulationslänge des äussersten Roth zu 0,0000266, die des äussersten Violet zu 0,0000167 engl. Zoll in Luft (respectiv 0,0004242 und 0,0006756 Mill.), die Anzahl der Vibrationen in 1 Sec. bei ersterem zu 458 Billionen, bei letzterem zu

*) Ueber das Licht. §. 575.

727 Billionen an. Indessen sind diese Gränzen schon durch Fraunhofer erweitert worden, der mindestens eine Octave beobachtet hat, wie aus dem Vergleiche folgender Angabe desselben mit den Bestimmungen der Wellenlänge und der Ansicht des von ihm verzeichneten Spectrum, das von der Linie *I* als Gränze des Violet bis ein wenig über die Linie *A* hinaus reicht, hervorgeht.

»Ungefähr bei *A* ist das rothe, bei *I* das violete Ende des Farbenbildes, eine bestimmte Gränze ist aber auf keiner Seite mit Sicherheit anzugeben, leichter noch bei Roth, als bei Violet. Ist alles unmittelbar oder durch einen Spiegel reflectirte Sonnenlicht ausgeschlossen, so scheint auf der einen Seite die Gränze ungefähr zwischen *G* und *H* zu fallen, auf der anderen Seite in *B* zu sein. Mit Sonnenlichte von sehr grosser Dichtigkeit wird das Farbenbild fast noch um die Hälfte länger*), um aber diese grössere Ausdehnung desselben sehen zu können, muss das Licht von dem Raume zwischen *C* und *G* verhindert werden, in das Auge zu kommen, weil der Eindruck, den das Licht von den Gränzen des Farbenbildes auf das Auge macht, sehr schwach ist und von dem übrigen verdrängt wird. In *A* ist eine scharf begränzte Linie gut zu erkennen; doch ist hier nicht die Gränze der rothen Farbe, sondern sie geht noch merklich darüber weg.«

Dass das Sonnenlicht über die rothe und violete Gränze des ohne besondere Vorsicht sichtbaren Spectrums hinaus noch Stralen von geringerer und grösserer Brechbarkeit enthält, war schon längst durch die wärmenden Wirkungen der jenseits des Roth und die chemischen Wirkungen der jenseits des Violet liegenden Stralen bekannt. Von diesen, in gewöhnlichen Spectris unsichtbaren, Stralen werden die ersten heutzutage nicht selten ultrarothe, die letzten ultraviolete oder überviolete genannt.**) Auch kann die Sichtbarkeit der ultravioleten Stralen durch Fluorescenz vermöge Verwandlung in minder brechbare erleichtert werden.

Des Näheren nun geht aus den neuen Untersuchungen Folgendes hervor:

---

*) Wenn ich diess recht verstehe, so bedeutet diess eine Verlängerung noch über *I* hinaus.

**) Helmholtz, von welchem der Name überviolete Stralen herrührt (Pogg. XCIV, 13), erklärt nicht bestimmt, von wo an er dieselben rechnet, und unstreitig könnte eine Gränze nur conventionell bestimmt werden, da die Nüancen ohne solche in einander übergehen. Nach der S. 241 gegebenen Tabelle rechnet er eine Wellenlänge 0,0004062, welche nach S. 240 zwischen *G* und *H* liegt, noch zum Violet, und 0,0003808, was sehr nahe der Linie *L* entspricht, zum Ueberviolet. Indem nun Fraunhofer das Ende des Violet bei *I* setzt, würde der Anfang des Ueberviolet etwa von *I* oder *K* an zu rechnen sein, deren Wellenlänge bis jetzt noch nicht bestimmt ist.

1) Die ultravioleten Stralen können bis zu der Gränze der Brechbarkeit, in der sie überhaupt im Sonnenspectrum vorhanden und durch Fluorescenz zur Wahrnehmung zu bringen sind, nach den übereinstimmenden Versuchen von Helmholtz*) und Esselbach**) auch ohne dieses Hülfsmittel (also ohne Verminderung der Brechbarkeit) mit den Augen wahrgenommen werden, wenn man derartige Massregeln trifft, dass die ultravioteten Stralen möglichst vollständig durch die zur Erzeugung und Betrachtung des Spectrums gebrauchten Medien durchgehen, was mit Quarz (Bergkrystall) besser als mit Glas der Fall ist***), und wenn theils die Nachbarschaft des hellern Spectrumtheils, wodurch das Auge geblendet wird, theils Beimischung unregelmässig zerstreuten Lichts zum ultravioleten durch das Prisma regelmässig gebrochenen Lichte ausgeschlossen wird, ein Zweck, den man im Allgemeinen erreicht†), wenn man den ultravioleten Theil aus dem mittelst eines Quarzprisma entworfenen Spectrum durch einen Schirm mit Spalte isolirt und durch ein Fernrohr aus Quarzlinsen mit vorgesetztem zweiten Quarzprisma betrachtet.

Hinsichtlich der äussersten ultravioleten Gränze bemerkt Esselbach (Pogg. XCVIII, 523): »hinter *R* ward nur einmal im Laufe des Sommers sehr schwach noch eine Linie *S* gesehen.«

Wenn demnach keine Farben über einen gewissen Grad der Brechbarkeit im Sonnenspectrum vom Auge mehr wahrgenommen werden, so ist der Grund der, dass keine in diesem Spectrum mehr vorhanden sind; und also auf eine an sich für das Auge nach dieser Seite bestehende Gränze der Sichtbarkeit aus Beobachtungen am Sonnenspectrum direct nicht zu schliessen.

Nun hat Stokes††) die Beobachtung gemacht, dass das elektrische Kohlenlicht ein Spectrum giebt, welches noch viel brechbarere Stralen enthält, als das Sonnenspectrum, so dass diesem†††) ungefähr noch eine Octave in der Höhe zugefügt wird. Bis jetzt scheint indess dieses Spectrum nur unter Zuziehung fluoresciren-

---

*) Pogg. XCIV, 12. 208.

**) Pogg. XCVIII, 513.

***) Doch ist es Helmholtz auch mit blossen Glasprismen gelungen (Pogg. XCIV, 1 ff.).

†) Vergl. Helmholtz in Pogg. LXXXVI, 501. XCIV, 1. 205. Berichte d. Berl. Ak. 1855. 757. Esselbach in Pogg. XCVIII, 515.

††) Pogg. LXXXIX, 628.

†††) Nach Esselbach's Bemerkung in den Ber. d. Berl. Ak. 1855. 760.

der Substanzen, wodurch sich die Brechbarkeit erniedrigt, beobachtet worden zu sein, und ich finde weder eine Angabe, dass der Theil, welcher durch diess Spectrum dem Sonnenspectrum zugefügt wird, ohne diess Hülfsmittel habe wahrgenommen werden können, noch eine Angabe, welche das Gegentheil ausspricht, so dass also noch durch den Versuch zu ermitteln wäre, ob nicht hier sich eine Gränze der Sichtbarkeit direct zeigte.

So lange man das Dasein der ultravioleten Stralen nur aus ihren chemischen Wirkungen und durch Fluorescenz zu erkennen vermochte, lag die Vermuthung nahe, dass dieselben unsichtbar wären, weil sie von den Medien des Auges absorbirt würden, und Versuche von Brücke über die Wirkung diffusen weissen Lichts nach seinem Durchgange durch die durchsichtigen Augenmedien auf eine dünne Schicht eingetrockneter Guajaktinktur*) liessen ihn den Schluss ziehen, »dass die Linse die brechbarsten (das Guajak bläuenden) Stralen in sehr hohem Grade absorbirt, weniger die Cornea und der Glaskörper, am meisten aber die Linse mit diesen beiden Medien zusammen«, welchen Versuchen er später noch andere bestätigend zufügte**), wonach auch die ultravioleten Stralen eines prismatischen Spectrums nach dem Durchgange durch Linse, Glaskörper und Cornea eines Ochsenauges nicht mehr verändernd auf empfindliches photographisches Papier wirkten, indess die violeten Stralen noch lebhaft einwirkten. Inzwischen abgesehen davon, dass die Sichtbarkeit der ultravioleten Stralen durch die obigen Beobachtungen von Helmholtz und Esselbach jetzt direct constatirt ist, hat auch Donders***) nach einer andern Methode entgegengesetzte Resultate als Brücke erhalten, wonach die ultravioleten Stralen nicht nur überhaupt von den Augenmedien durchgelassen werden, sondern eben so leicht als die brechbareren.

Das Princip des Versuches von Donders war dieses:

Wie leicht zu erachten, braucht man, um zu prüfen, ob ultraviolete Stralen durch die Augenmedien durchgehen, nur ein Spectrum auf einem Schirme zu entwerfen, welcher mit saurer schwefelsaurer Chininlösung (was eine fluorescirende Substanz ist) bestrichen ist, und zuzusehen, ob die durch Fluorescenz sichtbar gewordenen ultravioleten Stralen auch noch sichtbar bleiben, wenn man die durchsichtigen Augenmedien interponirt. Ist es der

*) Müller's Arch. 1845. 263.

**) Müller's Arch. 1846. 379.

***) Müller's Arch. 1853. 459.

Fall, so können sie natürlich nicht von diesen Medien absorbirt sein. Donders füllte nun zuvörderst Gläschen verschiedener Grösse mit Glaskörpern einiger Rindsaugen und brachte das eine oder andere zwischen den schwefels. Chininschirm, zu dem man blos die Stralen des Spectrum jenseits des Violet gelangen liess (damit sie für sich desto besser sichtbar würden), und zwischen die Lichtquelle. Sie erschienen noch eben so gut und bis zur selben Gränze als ohne diese Zwischeinbringung, nur mit so viel Schwächung, als auch eintrat, wenn man die minder brechbaren Stralen des Spectrum demselben Versuche unterwarf. Es wurden dann auch noch die andern Medien des Auges, Hornhaut, Linse, Retina, jedes für sich in einem mit Ochsenaugenglaskörper gefüllten Gläschen aufgehangen, so wie auch die ganze vordere Hälfte eines Auges; worin Hornhaut, wässerige Feuchtigkeit, Linse und Glaskörper vereinigt waren, in ähnlicher Weise angewendet, und keine wesentlich verschiedenen Resultate erhalten, nur dass bei Anwendung der Linse und des halben Auges die Erscheinung durch die Linsenwirkung in der Form etwas abgeändert wurde.

Das von Donders erhaltene Resultat ist später von Kessler*) auch noch auf folgende Weise bestätigt worden. Es wurden prismatische Spectra im dunklen Raume mit allen zur Ausschliessung fremden Lichtes erforderlichen Vorsichtsmassregeln dargestellt, und geprüft, ob solche Individuen, welchen die Krystalllinse durch Operation entzogen war, das Spectrum auf seiner brechbarsten Seite bis zu gleicher Ausdehnung wahrnehmen, wie Personen mit normalem Sehapparate. Es stellte sich kein irgend erheblicher Unterschied heraus Eine Person, welche wegen seitlich verschobener Krystalllinse ein Doppelbild des Spectrum sehen konnte, und zwar unter Zuhülfenahme einer Linse beide Bilder in gleicher Schärfe, sah das Violet in gleicher Ausdehnung.

2) Von den ultrarothen Stralen gilt nicht dasselbe, als von den ultravioleten; sie haben sich (jenseits der durch die Tabelle S. 241 bezeichneten Gränze) bis jetzt in keiner Weise für das Auge, sondern überhaupt nur durch ihre erwärmenden Wirkungen, wahrnehmbar machen lassen.

Bei diesen Stralen kann es jedoch noch als zweifelhaft gelten, ob nicht ihr Mangel an Sichtbarkeit blos durch eine starke Absorption Seitens der Augenmedien bedingt wird, oder ob eine mangelnde Perceptionsfähigkeit der Netzhaut dafür mit Antheil hat. Gewiss ist, dass Wasser, Eiweiss und andere durchsichtige Flüssigkeiten von den dunklen Wärmestralen verhältnissmässig weniger als von den leuchtenden durchlassen, im Allgemeinen um so weniger, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist und je dicker die Schicht ist, durch welche die Stralen zu gehen ha-

---

*) Gräfe's Arch. 1854. S. 466; hier nach Liebig und Kopp Jahresber. für 1854. S. 188.

ben. Jedoch lassen sie von den dunklen ultrarothen Stralen des Sonnenspectrum immerhin einen factisch nicht unerheblichen Antheil durch. Nach den directen Versuchen von Franz*) an den ultrarothen Stralen eines mit einem Flintglasprisma erzeugten Sonnenspectrum, welches sein Wärmemaximum im Roth hatte, wurde durch Interposition einer (zwischen Glasflächen enthaltenen) Wasserschicht von 63 Mill. Dicke die Temperatur der dem Roth nächsten dunklen ultrarothen Zone (jede Zone von 3 Mill. Breite) blos von 11,81 auf 5,93, die der folgenden von 8,77 auf 1,66, die der dritten von 6,11 auf 0,83**) erniedrigt, indess die Erniedrigung für das Roth selbst von 15,11 auf 10,00 gieng. (Noch weniger betrug die Reduction im dunklen Theile bei Kochsalzlösung oder Alkohol statt Wasser.) Wonach es schwer fällt, sich zu denken, dass die wesentlich wässerigen und eiweissartigen Augenmedien bei ihrer viel geringeren Dicke nichts Erhebliches von den ultrarothen Stralen durchlassen sollten, da zumal nach Melloni's Angabe***) Eiweiss von Wasser in der Diathermanität nicht wesentlich abzuweichen scheint, und in einem Flintglasspectrum die ultrarothen Stralen durch Absorption Seitens des Glases schon reducirt sind. Und hienach würde allerdings eine mangelnde Empfindlichkeit der Netzhaut für ultrarothe Stralen als Grund ihrer Unsichtbarkeit mit in Anspruch zu nehmen sein; jedoch wird es erst noch directer Versuche über die Durchgängigkeit der Augenmedien für ultrarothes Licht bedürfen, um in dieser Beziehung ein sicheres Urtheil fällen zu können.

Allerdings hat Brücke†) directe Versuche angestellt, nach welchen durch Hornhaut und Linse eines frischen Ochsenauges, einzeln oder in Verbindung angewandt, nichts für den Thermomultiplicator Merkliches von der dunklen Wärme durchstralte, welche von einem durch eine Oellampe ziemlich hoch, doch bei Weitem nicht zum Glühen erhitzten schwarzen Eisenblechcylinder herrührte, indess das freie Licht der Lampe durch die Hornhaut allein 8° bis 9°, durch die Linse allein $1\frac{1}{2}$° (durch beide zusammen Nichts) gab, und indess eine Wasserschicht von 18 Mill. Dicke zwischen Glimmerplatten von der Linse gleichem Querschnitte und ein Kalkspathkrystall von 3,7 Mill. Dicke mit einander combinirt 2° bei Durchstralung der dunklen Wärme gaben. Allein von dunkler Lampenwärme lässt sich kein bindender Schluss auf Sonnenwärme machen, als welche in anderen Verhältnissen aus

*) Pogg. CI, 51.

**) Die Zahlen sind Grade des Thermomultiplicators.

***) Pogg. XXXV, 292.

†) Müller's Arch. 1845. 271.

wärmenden und leuchtenden Stralen zusammengesetzt ist. Und ein späterer Versuch von Brücke*) mit Sonnenlicht kann ohne genauere Untersuchung der Wirkungsweise der dabei mit zugezogenen dünnen Russschicht, durch welche die Stralen zu dringen hatten, ebenfalls nicht als hinreichend beweisend gelten.

3) Nach der Bestimmung von Helmholtz**) beträgt der ganze, ohne Hülfe von Fluorescenz sichtbare, Theil des Sonnenspectrum vom äussersten Roth bis zum äussersten Violet, bei Anwendung aller Massregeln, welche die directe Sichtbarkeit erleichtern können, etwa eine Octave plus einer Quarte (vergl. S. 241); und zwar ist nach Helmholtz die Wellenlänge des äussersten sichtbaren Roth (bei einem Spectrum, von dem alles Licht mit Ausnahme des äussersten Roth durch Anwendung von zwei Prismen und zwei Schirmen abgeblendet war) 0,0008124 Mill., die des äussersten Ultraviolets 0,0003047; wozwischen sich die von Esselbach bestimmten Wellenlängen der dunklen Linien in der S. 240 angegebenen Weise einreihen.

4) Die neuesten Versuche von J. Müller***) führten denselben zuerst zu dem Resultate, dass die Wellenlänge der äussersten ultrarothen Stralen des Sonnenspectrum 0,00183 Mill. sei, später nach einer anderen Berechnungsweise, dass sie 0,0048 Mill. sei. Und sofern die Wellenlänge der äussersten ultravioleten Stralen 0,0003047 Mill. ist, würde ersteres etwas über $2\frac{1}{2}$, letzteres gar 4 Octaven für die Ausdehnung des ganzen Sonnenspectrum, den sichtbaren und unsichtbaren Theil zusammengenommen, geben. Indess theils die mangelnde Homogeneität des zu den Versuchen dienenden Spectrum, theils der Zweifel über die Triftigkeit des zur Berechnung angewandten Princips†) lassen beide Angaben noch zweifelhaft erscheinen.

5) Man konnte fragen, ob die Sichtbarkeit des ultravioleten Spectrumtheiles ohne künstliche Zuhülfenahme der Fluorescenz nicht vielleicht blos darauf beruhe, dass die Netzhaut selbst durch eine fluorescirende Eigenschaft solche in minder brechbare Stralen verwandele, da zumal die ultravioleten Stralen eine blaue Farbe zeigen?

Helmholtz††) hat diese Frage zuerst an der Netzhaut eines

*) Müller's Arch. 1846. 382.
**) Berl. Ber. 1855. 760.
***) Pogg. CV, 337. 543.
†) Vgl. hierüber die Bemerkungen von E. Eisenlohr in Pogg. CIX, 240.
††) Pogg. XCIV, 205.

vor 18 Stunden gestorbenen Mannes untersucht, und gefunden, dass die Netzhaut allerdings durch eine ihr zukommende schwache Fluorescenz das auf sie fallende ultraviolete Licht in ein Stralengemisch von nicht ganz reiner (grünlich blauer) weisser Farbe verwandelt, welches ausser einem verhältnissmässig grossen Antheile unveränderten ultravioleten Lichtes auch die weniger brechbaren Stralen des Spectrum (mit Ausnahme des Roth) enthält, dass aber diese schwache Fluorescenz, (schwächer, als bei Papier, Leinewand und Elfenbein, stärker als bei Porzellan), nicht hinreicht, die Sichtbarkeit der ultravioleten Stralen von Fluorescenz abhängig zu halten.

»Die ziemlich gesättigte blaue Farbe der übervioleten Stralen für das lebende Auge und die fast ganz weisse Farbe des dispergirten Lichtes der todten Netzhaut waren, sagt er, zu verschieden, als dass die Ansicht haltbar wäre, dass die Netzhaut die übervioleten Stralen nur nach ihrer Verwandlung in minder brechbares Licht empfinde.«

Setschenow*) hat an der frischen Netzhaut von Kaninchen- und Ochsenaugen die von Helmholtz erhaltenen Resultate bestätigt gefunden. Ausserdem untersuchte derselbe auch die durchsichtigen Medien derselben Thieraugen auf ihre Fluorescenz im ultravioleten Lichte. Der Glaskörper zeigte nur Spuren Fluorescenz, die Linse dagegen fluorescirte stark weissblau, die Cornea viel schwächer, aber in derselben Weise, die wässerige Feuchtigkeit gar nicht. Auch am Auge des lebenden Menschen lässt sich diese Fluorescenz nachweisen, wenn man das Auge in den Brennpunct der ultravioleten Stralen des vom Verf. angewandten Apparates bringt. Cornea und Linse fangen dann an, mit weissblauem Lichte zu schimmern, und zwar die Cornea viel stärker, als im ausgeschnittenen Zustande.

Inzwischen kann diese Fluorescenz der durchsichtigen Augenmedien nichts beitragen, den ultravioleten Theil des Spectrum sichtbar zu machen, sondern eher, diese Sichtbarkeit zu hindern, weil die durchsichtigen Medien das Licht, welches die Fluorescenz in ihnen erleidet, nach allen Seiten zerstreuen, dispergiren, als wenn sie selbstleuchtend wären; so dass mittelst dieses dispergirten Lichtes kein Bild des ultravioleten Spectrumtheils im Auge erzeugt werden könnte.

*) Gräfe Arch. 1859. V, 206.

Nach Vorstehendem kann es noch nicht als durch Erfahrung direct entschieden gelten, dass überhaupt Gränzen der Perceptionsfähigkeit die Netzhaut für Farben mit zu schnellen und zu langsamen Schwingungen statt finden, indem sich nach dem, was S. 243 mitgetheilt ist, die brechbarsten (ultravioleten) Stralen des Sonnenspectrums noch haben direct wahrnehmen lassen, und nach der Erörterung S. 245f. die Möglichkeit noch nicht ganz ausgeschlossen ist, dass die mindest brechbaren (ultrarothen) Stralen blos desshalb unsichtbar sind, weil sie nicht in hinreichender Menge durch die Augenmedien durchzudringen vermögen, um sichtbar zu sein.

Dessenungeachtet bleibt eine verschiedene Perceptionsfähigkeit der Netzhaut der Art, dass Farbestralen von gleicher lebendiger Kraft bei verschiedener Schwingungszahl oder Wellenlänge mit ungleicher Leichtigkeit oder Stärke empfunden werden, und über gewisse Gränzen hinaus gar nicht percipirt werden, überwiegend wahrscheinlich, einmal, weil die Wirkung der Fluorescenz unter keiner anderen Voraussetzung erklärbar scheint, zweitens, weil man zur Erklärung der abweichenden Vertheilung der Wärme und Helligkeit im prismatischen Spectrum nur die Wahl hat, eine wesentliche Verschiedenheit zwischen dem Principe des Lichts und der Wärme oder eine verschiedene Empfindlichkeit der Netzhaut für Stralen von verschiedener Brechbarkeit zu statuiren; wovon erstere durch die neueren Untersuchungen mehr und mehr unwahrscheinlich geworden ist, wogegen letztere nach allgemeinen Gesetzen der Schwingungsmittheilung vielmehr die Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Ueber diese Puncte soll noch in etwas nähere Erörterung eingegangen werden.

Was den ersten anlangt, so ist Thatsache, dass die ultravioleten Stralen, wenn auch der Vermittlung der Fluorescenz zur Sichtbarkeit nicht nothwendig bedürfend, doch leichter gesehen werden, wenn sie durch Fluorescenz aus brechbareren in minder brechbare Stralen verwandelt werden, ungeachtet sich nicht annehmen lässt, dass die lebendige Kraft durch Fluorescenz vergrössert wird.

So fasst es auch Helmholtz*), indem er von den ultravioleten Stralen bemerkt, ihre »objective Helligkeit« sei nicht so gering, als man nach ihrer

*) Pogg. XCIV. 13.

geringen Wirkung auf das Auge schliessen möchte; diess beweise sich durch die Fluorescenz, »und obgleich die lebendige Kraft der Lichtschwingungen durch den Process der Fluorescenz gewiss nicht vermehrt werde, afficire das durch sie erzeugte Licht von längerer Schwingungsdauer die Netzhaut lebhaft genug, um gesehen zu werden.«

Nun liesse sich allerdings denken, die Erleichterung der Sichtbarkeit durch Fluorescenz beruhe darauf, dass die Stralen innerhalb des gewöhnlich sichtbaren Spectrum leichter durch die Augenmedien durchgiengen, als die ultravioleten, und die Versuche Brücke's (S. 244) schienen diess sogar direct zu beweisen, indess widersprechen ihnen sehr bestimmt die S. 244 mitgetheilten Beobachtungen von Donders und Kessler.

Um den zweiten Punct zu erörtern, wird es zuvörderst gelten, die nach mehreren Beziehungen für uns wichtige Verschiedenheit in der Vertheilung von Licht und Wärme im Spectrum zu constatiren und, so weit es nach bisherigen Untersuchungen möglich ist, näher zu bestimmen.

Das Maximum der Leuchtkraft des Sonnenspectrum, was durch ein Prisma aus irgend einer farblosen durchsichtigen Substanz erzeugt ist, liegt bekanntlich im Gelb zwischen den Linien *D* und *E**), und die Vertheilung der Intensität ist von Fraunhofer**) an einem mit einem Flintglasprisma erzeugten Spectrum aus homogenen Stralen bestimmt worden. Die von ihm angegebenen Zahlen drücken jedoch nicht das wahre Intensitätsverhältniss der im Sonnenlichte enthaltenen Farbenstralen aus, weil dieselben im brechbareren Theile des prismatischen Spectrum verhältnissmässig mehr auseinandergezogen und dadurch mehr verdünnt sind, als im minder brechbaren, was sich anders in dem durch Interferenz erzeugten Fraunhofer'schen Gitterspectrum***) verhält, wo der Abstand jeder Farbe von dem mittleren weissen Streifen proportional der zugehörigen Wellenlänge ist. Um die wahren Intensitätsverhältnisse der Farben im Sonnenlichte zu haben, müssen daher die Intensitäten des prismatischen Spectrum erst auf diejenigen reducirt werden, welche im Gitterspectrum dafür eintreten würden. Diese Reduction ist von

---

*) »Der hellste Ort — sagt Fraunhofer — liegt um ungefähr $1/3$ oder $1/4$ der Länge *DE* von *D* nach *E* zu. Genau ist die Lage dieses Ortes nicht anzugeben.«

**) Gilb. LVI, 301.

***) Denkschr. d. Münch. Akad. VIII.

A. Seebeck*) mit Hülfe einer Interpolation nach den relativen Abständen der dunklen Linien in beiden Spectris vorgenommen. Hienach stellen sich die Lichtintensitäten des prismatischen Spectrum nach Fraunhofer und die danach von Seebeck berechneten des Gitterspectrum für die den dunklen Linien entsprechenden Stellen des Sonnenspectrum wie folgt: **)

Feste Linien.	Intensitäten.		Wellenlänge in Mill.
	Prismat. Sp.	Gittersp.	
B	0,032	0,02	0,0006878
C	0,094	0,06	6564
D	0,64	0,57	5888
Maxim.	1,00	1,00	
E	0,48	0,56	5260
F	0,17	0,28	4843
G	0,031	0,08	4291
H	0,0056	0,02	3929

Wohl zu merken bedeuten die Zahlen für die Intensitäten in dieser Tabelle nicht Intensitäten der Empfindung, welche von den verschiedenen Spectrumfarben hervorgerufen werden, sondern objectiv gemessene Intensitäten weissen Lampenlichtes, mit welchen die verschiedenen Stellen des Spectrum von gleich starkem Eindrucke auf das Auge gefunden wurden; ein Vergleich, der allerdings etwas schwierig ist, aber doch durch geeignete Versuchsmassregeln und Uebung, welche, wie Fraunhofer bemerkt, den Vergleich ungemein erleichtert, möglich geworden ist, und freilich nur eine mässige Sicherheit erlangt hat, wovon sich nach dem Grade der Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungen (Gilb. LVI, 301) urtheilen lässt, und wonach für die grösseren Intensitäten sich die Bestimmung verhältnissmässig sicherer findet, als für die kleineren.***)

---

*) Pogg. LXII, 574.

**) Die Intensitätscurve des prismatischen Spectrum nach Fraunhofer findet man bei den Abbildungen desselben (vgl. S. 239) mit verzeichnet; die des daraus abgeleiteten Gitterspectrum nach Seebeck in Pogg. LXII. Taf. III. Fig. 4.

***) Für die Linien *D, E, F* mit einer Summe der Intensitäten = 1,29 findet sich die einfache Fehlersumme nach je 4 Versuchen an jeder Linie im Ganzen 0,676, für die Linien *B, C, G, H* mit einer Summe der Intensitäten 0,163 im Ganzen 0,228.

Melloni, indem er in einer Abhandlung (Pogg. LXII, 24) ebenfalls der Nothwendigkeit gedenkt, die direct beobachteten Lichtintensitäten des Newton'schen Spectrum erst auf die des Gitterspectrum zu reduciren, um die richtigen Verhältnisse der Leuchtkraft der verschiedenen Farbenstralen im Sonnenlichte zu erhalten, macht dabei folgende Mittheilung.

»Um diese Verhältnisse zu erhalten, hat Hr. Prof. Masotti die Data berechnet, die beitragen zur Bildung der Gitterspectra, worin die Elementarfarben sich vermöge einer blossen Interferenz neben einander ausbreiten, und sonach Räume einnehmen, die alleinig von ihrer Vibrationsperiode oder Undulationslänge abhängen. Für diese, von dem angedeuteten Mangel freien, Spectra hat Hr. Masotti den hellsten Punct genau in der Mitte des Gelb gefunden, und diese wiederum in gleichem Abstande von beiden Enden, so dass die rothe und die violete Gränze die mindest hellen Puncte des Spectrum sind und beide gleiche Lichtstärke haben. Herr Masotti hat endlich bewiesen, dass die Farben dieser beiden Gränzen aus Aetherwellen bestehen, deren Längen in dem Verhältnisse 2 : 1 stehen.«

Leider ist weder angegeben, wo sich die Masotti'sche Arbeit findet, noch auf welche Data sich dieselbe stützt. Ihr Resultat weicht insofern etwas von dem Seebeck'schen nach Fraunhofer'schen Datis ab, als dieser eine gleiche Intensität für Farben findet, deren Wellenlänge im Verhältnisse 1 : 1,75 stehen, indess Masotti dafür das Verhältniss 1 : 2 giebt.

Was die Vertheilung der Wärme im prismatischen Spectrum anlangt, so ist die Lage des Wärmemaximum veränderlich theils nach der Substanz der Prismen, durch welche man das Spectrum erzeugt, theils nach der Dicke des Prisma, durch welche die Stralen hindurchgehen, theils nach der Homogeneität oder Nichthomogeneität des Spectrum, theils endlich nach der Natur der etwa auf dem Wege der Stralen noch interponirten durchsichtigen Substanzen. Bei Anwendung eines mit Wasser, Alkohol oder Terpentinöl gefüllten Hohlprisma hat man es im Gelb gefunden, bei Glasprismen je nach der Glasart und anderen Umständen im Orange, Roth oder jenseits des sichtbaren Roth (im Ultraroth), mit einem Steinsalzprisma stets jenseits des Roth. Diese Veränderlichkeit hängt wesentlich davon ab, dass die ultrarothen dunklen Wärmestralen von den durchsichtigen Substanzen, aus denen die Prismen bestehen, in anderem und zwar stärkerem Verhältnisse absorbirt werden, als die sichtbaren, dass sich diess Verhältniss nach der Verschiedenheit der durchsichtigen Substanzen und der Dicke, durch welche die Stralen durchzugehen haben, ändert, und dass bei einem nicht homogenen Spectrum (erzeugt durch einen Spalt von irgends erheblicher Breite) dunkle Wärmestralen, welche eigentlich dem Ultraroth angehören, mit in den sichtbaren Theil

des Spectrum übergreifen, welche dann je nach der Verschiedenheit der Substanz des Prisma mehr oder weniger absorbirt werden.

Nach Melloni's Versuchen ist aber das Steinsalz eine Substanz, welche die dunklen und sichtbaren Wärmestralen gleich leicht durchlässt; und um massgebende Bestimmungen über die Wärmeintensität des ganzen Spectrum zu haben, sowohl seinem dunklen als hellen Theile nach, muss man daher ein Steinsalzprisma zur Entwerfung des Spectrum anwenden, was nicht so wesentlich ist, wenn es sich blos darum handelt, die Wärmeintensität im sichtbaren Theile des Spectrum vom Violet zum Roth zu erhalten, da nach den unten mitzutheilenden Datis die verschiedensten durchsichtigen Substanzen eine gleiche Durchgängigkeit für alle Stralen dieses Spectrumtheils zeigen. Ausserdem müsste, streng genommen, eine Homogeneität des Spectrum statt finden, für welche das Dasein der dunklen Linien als charakteristisch gilt. Da man aber hiezu ein sehr schmales Lichtbündel anwenden muss, so sind die Wärmewirkungen eines solchen Spectrum bisher zu schwach ausgefallen, um Messungen zugänglich zu sein*), so dass man noch keine reinen und auf bestimmte dunkle Linien bezogenen Intensitätsbestimmungen der Wärme des Spectrum hat.

Wenn man sich aus Helmholtz's gegen Brewster geführter Untersuchung (Pogg. LXXXVI, 501) erinnert, welche wichtige Irrungen das von Unreinigkeiten der Substanz, unvollkommener Politur des Prisma, und mehrfachen Reflexionen zwischen den Flächen des Prisma abhängige diffuse Licht in die Beurtheilung der Farbenverhältnisse des Spectrum bringen kann, und in Betracht zieht, dass dasselbe bei einem, mit blos einem Spalt und blos einem Prisma erzeugten Spectrum, wie es den bisherigen Untersuchungen über die Wärmeverhältnisse des prismatischen Spectrum untergelegen hat, gar nicht ausschliessbar ist, am wenigsten bei einem Steinsalzprisma, welches nicht leicht von so vollkommener Politur, und so rein als ein Glasprisma zu erhalten ist, so kann auch hierin eine beachtenswerthe Ursache der Unreinheit des Spectrum und der daran erhaltenen Resultate gesucht werden. Indessen scheint doch, so viel ich übersehen kann, hieraus nur eine nahehin gleichförmige Abänderung der Temperatur des sichtbaren Spectrumtheils, aber kein Einfluss auf die Lage des Maximum hervorgehen zu können.

Indessen sind folgende Data anzuführen. Unter Anwendung eines Steinsalzprisma liegt das Maximum der Wärmeintensität jedenfalls erheblich jenseits der sichtbaren Gränze des Roth im Ultraroth.

---

*) Vergl. Franz in Pogg. CI, 50. J. Müller in Pogg. CV, 339.

Nach einer früheren Angabe Melloni's (Pogg. XXVIII, 377), »liegt es so weit vom rothen Ende entfernt, dass der Abstand zwischen ihm und dem Roth eben so gross war, als der Abstand zwischen dem Roth und dem Violet, als die ganze Länge des Spectrum.« Nach einer späteren Angabe desselben (Pogg. XXXV, 307) ist der Abstand des Wärmemaximum vom rothen Ende wenigstens so gross, wie der des Grünblau vom Roth, darauf nimmt die Intensität rasch ab, und in einer Entfernung von dieser Stelle, welche einem Dritttheile der Länge des Farbenspectrum gleich ist, hört alle merkliche Wärmewirkung auf. Nach einer dritten Angabe endlich (Pogg. LXII, 22) findet Melloni das Wärmemaximum »ganz abgesondert von den Farben in einer mittleren Entfernung gleich derjenigen, die, nach entgegengesetzter Seite, zwischen dem Roth und Gelb vorhanden ist.« Die neuen Beobachtungen von J. Müller*) ergaben ein, mit der zweiten dieser Angaben hinsichtlich der Maximumlage übereinstimmendes Resultat, d. i. »den Abstand des Maximum von der Gränze des Roth ungefähr eben so gross wie den Abstand des Ueberganges von Grün zu Blau von der rothen Gränze des Spectrum;« die thermische Verlängerung des Sonnenspectrum über das Roth aber einen Raum einnehmend, welcher nahezu eben so lang war, als das ganze gewöhnlich sichtbare Spectrum zum Violet. Ausserdem fand er, dass ein Crownglasprisma in dieser thermischen Verlängerung mit dem Steinsalzprisma übereinstimmte, aber ein näher an Roth liegendes Maximum gab. Die Linie *B* lag bei dem Crownglasspectrum ungefähr in der Mitte zwischen dem violeten Ende des Spectrum und den äussersten dunklen Wärmestralen desselben.

Massbestimmungen über die Intensität in den einzelnen Theilen des (freilich nicht homogenen) Spectrum haben Franz**) und J. Müller***) gegeben, der erstere unter Anwendung eines Flintglasprisma und Interposition einer Glasflasche, um vergleichende Versuche mit und ohne Transmission der Stralen durch Flüssigkeiten anzustellen, der zweite unter vergleichender Anwendung eines Crownglas- und eines Steinsalzprisma. Unter Anwendung des Steinsalzprisma fand der Letztere folgende Intensitäten der Wärme (Kräfte, womit sie auf den Thermomultiplicator wirkt), wobei die Angabe 1''', 2''' u. s. w. für das Ultraroth den Abstand von dem sichtbaren rothen Ende bezeichnet.

Mitte von			Ultraroth			
Blau	Gelb	Roth	1'''	3'''	4'''	6'''
3,7	7,9	10,0	13,2	15,9	13,2	1,7

Mit dem Crownglasprisma wurden (wegen grösserer Reinheit dieses Prisma) im sichtbaren Theile des Spectrum absolut stärkere,

*) Pogg. CV, 352.

**) Pogg. CI, 46.

***) Pogg. CV, 337. 543.

aber merklich gleiche, Verhältnisse für die verschiedene Farben zeigenden Zahlen erhalten, nämlich (bei Reduction auf den gleichen Werth bei Roth)

Mitte von			Ultraroth			
Blau	Gelb	Roth	1'''	2'''*)	4'''	6'''
4	7	10	12	11	7	2

indess, wie man sieht, die Verhältnisse im unsichtbaren Ultraroth sehr von denen des Steinsalzprisma abwichen. **)

Auch bei diesen, an einem prismatischen Spectrum gemachten, Bestimmungen ist nun aber in Rücksicht zu ziehen, dass die Wärmestralen im brechbareren Theile des Spectrum mehr verdünnt sind, und also, um ihr wahres Intensitätsverhältniss, in dem sie im Sonnenstrale enthalten sind, zu haben, erst eine Reduction auf das Gitterspectrum nöthig, wie sie von Seebeck bezüglich der Helligkeit statt gefunden hat. Nach einer solchen Reduction eines prismatischen Steinsalzspectrum findet J. Müller das Maximum der Intensität der Wärme, eben so wie es für das Licht gilt, im Gelb liegend, und diese Bestimmung erhält um so mehr Gewicht dadurch, dass Draper***) schon früher dasselbe durch directe Versuche an einem ohne Zuziehung dioptrischer Medien durch Reflexion erzeugten Gitterspectrum gefunden. Jedoch wird damit die Vertheilung der Wärme im Spectrum keineswegs übereinstimmend mit der Vertheilung der Helligkeit (wie Draper annimmt), wie schon von selbst daraus folgt, dass die Helligkeit, aber nicht die Wärme jenseits des Roth verschwindet; und auch aus dem Vergleiche von Seebeck's Helligkeitscurve (S. 251) mit Müller's Wärmecurve für das Gitterspectrum †) hervorgeht, worauf unten zurückzukommen.

Fragt man nun nach dem Grunde dieser verschiedenen Vertheilung von Licht und Wärme im Spectrum, so liegt es auf der Hand, dass, wenn man Licht und Wärme als wesentlich verschiedene Agentien ansieht, nichts hindert, zu denken, dass die Inten-

---

*) Beim Steinsalzprisma steht hier 3'''. Wahrscheinlich ist 2''' verdruckt.

**) Die vergleichenden Curven des Steinsalz- und Crownglasprisma s. Pogg. CV. Taf. III. Fig. 1.

***) Philos. mag. 1857. XIII, 153.

†) Pogg. CV. Taf. III. Fig. 4.

sitäten des Lichtes und der Wärme von gleicher Brechbarkeit im Spectrum einander nicht proportional gehen. Inzwischen kann die Ansicht der wesentlichen Identität von Licht und Wärme, wenn auch noch nicht als schlechthin erwiesen gelten, doch nur noch schwachen Zweifeln begegnen, und jene Verschiedenheit der Vertheilung von Licht und Wärme im Spectrum eben desshalb keinen bindenden Gegengrund dagegen geben, weil sie theils von verschiedener Durchgängigkeit der Stralen verschiedener Brechbarkeit durch die Augenmedien, theils verschiedener Empfindlichkeit der Netzhaut dafür abhängig gemacht werden kann.

Melloni, der die ausgedehntesten Untersuchungen in diesem Felde angestellt hat, nachdem er sich früher gegen die Identität von Licht und Wärme erklärt*) und mehrere Thatsachen als entschiedene Beweise dagegen angeführt hatte, ist durch spätere Untersuchungen selbst dahin gelangt, alle von ihm beobachteten Thatsachen mit der Identitätsansicht vereinbar zu halten, und hat sich eben so entschieden für diese Ansicht erklärt.**) Nicht minder pflichten Masson und Jamin***) nach ihren Versuchen dieser Ansicht bei.

Alle neueren Thatsachen zusammengefasst, scheint sich in der That der ganze Unterschied der dunkeln, durch kein Mittel sichtbar zu machenden, Wärmestralen von sichtbaren Stralen darauf zu reduciren, dass jene eine geringere Brechbarkeit und mithin Vibrationsschnelligkeit, grössere Undulationslänge, besitzen, womit eine geringere Durchgängigkeit durch die meisten Medien in Beziehung steht; und es scheint nicht, dass Stralen von identischer Brechbarkeit noch als Licht- und Wärmestralen unterschieden werden können. Nicht nur befolgen die dunklen Wärmestralen die allgemeinen Gesetze der Fortpflanzung, Reflexion, einfachen und Doppelbrechung, Polarisation, Interferenz, Absorption des Lichts, sondern Melloni†) findet auch neuerdings, »dass die Farben des Spectrum so innig an ihre Temperatur geknüpft seien, dass sie beim Durchgange durch nicht ganz klare Substan-

*) Pogg. XXXVII, 486.

**) Pogg. LVII, 300. LXII, 18, so wie sein Werk: »La thermochrose 1850. 327.«

***) Compt. rend. XXXI, 14.

†) Pogg. LXII, 28.

zen eben so viel Wärme als Licht verlieren, so dass das Verhältniss dieser beiden Agentien immer ungestört dasselbe bleibt.«

Auf dasselbe führen die neuen Untersuchungen von Franz*) über die Diathermansie gefärbter Flüssigkeiten. »Ueberall, wo eine Absorption des Lichtes erkennbar ist, ist auch eine Abnahme der Wärmeintensität nachweisbar. .... Das Minimum des Lichtverlustes bei Stralung des Spectrum durch eine Flüssigkeit muss — so schliesst er seine Abhandlung — mit dem Minimum des Wärmeverlustes in derselben Zone beobachtet werden, sonst ist die Identität von Wärme und Licht unmöglich. In der That zeigen die blauen Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxyd das Minimum des Wärmeverlustes nach der Stralung eines Spectrum durch dieselben in der blauen Zone, die grünen Lösungen von schwefelsaurem Eisenoxydul in der grünen Zone. Bei Anwendung von rothen Lösungen zeigt sich, dass von allen durch rothe Lösungen dringenden farbigen Stralen die rothen Stralen am wenigsten Licht und Wärme verlieren, zum Theil sind aber rothe Lösungen für dunkle Wärme von geringerer Brechbarkeit als das Roth diathermaner als das Wasser.«

Was für den ersten Anblick der Intensitätsansicht gänzlich entgegen scheint, und von Melloni früher (Pogg. XXXVII, 486) als schlagend dagegen geltend gemacht wurde, ist der oben berührte Umstand, dass, je nachdem man ein Prisma aus Steinsalz, Flintglas, Crownglas, Wasser anwendet, oder auch das durch ein Steinsalzprisma erzeugte Spectrum durch dieses oder jenes durchsichtige Medium oder verschieden dicke Schichten desselben Medium hindurchstralen lässt, sich die Lage des Wärmemaximum und die Wärmevertheilung überhaupt, mithin das Intensitätsverhältniss der Wärmestralen des Spectrum ändert, während das Intensitätsverhältniss der Farbenstralen ungeändert bleibt; widrigenfalls diese Substanzen farbig im durchgehenden Lichte erscheinen müssten. Aber nach den späteren Versuchen Melloni's**) gilt diess blos für nichthomogene Spectra, in denen sich dunkle Wärmestralen noch den farbigen Stralen am rothen Ende beigemischt finden; wogegen er »bei möglichster Vermeidung aller Fehlerquellen .... die Temperaturen der prismatischen Farben beständig die höchste Temperatur am rothen Ende behaupten sahe, von welcher Beschaffenheit die farblose Substanz auch sein mochte, die man anwendete, entweder in Prismenform, um das Sonnenlicht in seine Elementarstralen zu zerlegen,

*) Pogg. CI, 46.

**) Pogg. LVII, 302. LXII, 28.

oder in Plattenform, um die absorbirenden Wirkungen des Körpers auf diese Stralen zu erforschen.«

Nicht minder ziehen Masson und Jamin*) aus ihren Untersuchungen den Schluss, dass durch Steinsalz, Bergkrystall, Alaun, Glas und Wasser alle Wärmestralen zwischen Roth und Violet gleichmässig hindurchgehen, also die beträchtlichen Unterschiede in der Diathermanität dieser Substanzen nur in der verschiedenen Absorption der dunklen Stralen ihren Grund haben. Endlich sind auch die obigen Resultate der vergleichenden Versuche von J. Müller mit einem Crownglas- und Steinsalzprisma**) in demselben Sinne. Wonach diese Verhältnisse anstatt Gegenbeweise gegen die Identitätsansicht zu liefern, vielmehr zu den wichtigsten Beweisen für dieselbe zu zählen sind.

So viel ich übersehe, liegt nur noch eine Klasse von Thatsachen vor, welche schwierig mit der Identitätsansicht vereinbar scheint, dass es nämlich Licht von erheblicher Leuchtkraft giebt, oder durch besondere Verfahrungsweisen hergestellt werden kann, was eine kaum merkliche oder gar keine merkliche Wärmewirkung zeigt. Schon das Mondlicht ist Licht, dessen Wärme nur durch die empfindlichsten Apparate nachgewiesen werden kann. Besonders frappant aber ist folgender Versuch, welchen Melloni***) früherhin als einen Cardinalversuch gegen die Identitätsansicht angeführt hat, bezüglich auf den Durchgang von Sonnenlicht, so wie irdischem Feuerlicht durch ein System, bestehend aus einer Wasserschicht zwischen Glasplatten, die durch Kupferoxyd grün gefärbt sind.

»Das reine Licht, sagt Melloni, welches zu diesem Systeme ausfährt, viel Gelb enthält, aber dennoch eine blaugrüne Farbe besitzt, wirkt nicht wärmend auf die empfindlichsten Thermoskope, selbst wenn man es durch Linsen so concentrirt, dass es eben so glänzend ist, wie das dunkle Sonnenlicht.«

Es ist zu bedauern, dass Melloni nach seiner Bekehrung zur Identitätsansicht nicht auf die Discussion dieses, von ihm überhaupt nur kurz angeführten Versuches zurückgekommen ist, eben so wenig ist er meines Wissens bis jetzt von Anderen wiederholt

*) Compt. rend. XXXI, 14.
**) Pogg. CV, 349. 351.
***) Pogg. XXXVII, 486.

worden, wenn schon er überall als ein Haupteinwand gegen die Identitätsansicht angeführt wird; nur muss man eben daraus, dass er Melloni nicht gehindert hat, sich später zur Identitätsansicht zu wenden, schliessen, dass ihm dieser Versuch später nicht mehr so beweisend erschienen ist, wie früher.

Durchschlagend gegen die Identitätsansicht könnten derartige Thatsachen überhaupt nur sein, wenn sie von, auf die Frage besonders gerichteten, Massbestimmungen begleitet wären, wie solche aber bis jetzt nicht vorliegen. Denn hinreichend erwiesen ist jedenfalls, dass die Wärme des Sonnenlichtes so wie der irdischen Feuer zum bei Weitem grössten Theile aus dunkler Wärme besteht, welche durch durchsichtige Medien leichter absorbirbar ist, als durch sichtbare, so dass, wenn man alle dunklen Stralen und noch überdiess einen grossen Theil der leuchtenden absorbirt hat, wie es in Melloni's Cardinalversuche geschahe, der Rest nur noch eine sehr geringe Wärmewirkung überhaupt äussern kann; wenn schon es immer unerwartet bleibt, dass sie auch nach Concentrirung durch eine Linse bis zu starker Leuchtkraft nicht sollte haben bemerklich werden können. Jedenfalls ist bei dem übrigen Genügen der Identitätsansicht auf einzelne widersprechende, nicht gehörig constatirte und aus Mangel an Massbestimmungen nicht gehörig discutirbare Thatsachen um so weniger grosses oder gar entscheidendes Gewicht zu legen, als der Urheber derselben selbst später ein solches nicht mehr darauf gelegt hat.

Kann nun Vorstehendem zufolge die ungleiche Vertheilung des Lichtes und der Wärme im Spectrum nicht mit Wahrscheinlichkeit von einer Nichtidentität des Lichtes und der Wärme abhängig gemacht werden, so liesse sich von anderer Seite denken, dass durch die ungleiche Absorption der Stralen verschiedener Brechbarkeit Seitens der Augenmedien ein anderes Intensitätsverhältniss der im Auge als leuchtend wahrgenommenen als der ausserhalb des Auges thermometrisch gemessenen Theile des Spectrum entstände. Eine solche ungleiche Absorption findet nun auch unstreitig statt, wenn man die sichtbaren und unsichtbaren Wärmestralen vergleicht, und ist in Rücksicht zu ziehen. Allein nach den oben erwähnten Versuchen von Melloni, Masson, Jamin und J. Müller findet innerhalb des sichtbaren Theiles des Spectrum vom Violet zum Roth keine ungleichförmige Absorption verschiedener Farbestralen durch farblos durchsichtige Medien statt; oder

wenigstens ist eine solche insofern ganz unwahrscheinlich, als die verschiedensten durchsichtigen Medien bei sehr ungleicher absoluter Absorptionsfähigkeit für die Wärme doch gleiche Wärmeverhältnisse der hindurchgehenden Spectrumstralen finden lassen.

Auch ist schon oben S. 246 bemerkt worden, dass nach den vorliegenden Thatsachen sehr unwahrscheinlich die ultrarothen Stralen des Sonnenlichtes ganz von den Augenmedien absorbirt werden.

Hienach scheint nur die Annahme übrig zu bleiben, dass, wenn die Farben des Spectrum nicht in denselben Verhältnissen hell im Auge erscheinen, als sie draussen warm sind, diess von einer ungleichförmigen Empfindlichkeit der Netzhaut für die Farben abhängt, der Art, dass nach den Gränzen des Spectrum zu Farbenschwingungen bei gleicher lebendiger Kraft, mit der die Netzhaut von ihnen getroffen wird, doch minder leicht und stark empfunden werden, als um die Mitte, und über gewisse Gränzen hinaus gar nicht mehr merklich empfunden werden.

Die Identitätsansicht von Licht und Wärme vorausgesetzt, kann man nämlich die objective Intensität, d. i. lebendige Kraft, der Stralen in den verschiedenen Theilen des Spectrum durch ihre Wärme gemessen halten, und bei der farblosen Durchsichtigkeit der Augenmedien, welche das Verhältniss der sichtbaren Farbenstralen nicht abändert, auch annehmen, dass die Stralen mit derselben verhältnissmässigen Intensität, welche sie auswendig haben, zur Netzhaut gelangen; wo wir nicht mehr im Stande sind, ihre Wärme zu messen, wohl aber ihre Leuchtkraft, d. i. die Intensität weissen Lichtes, welche einen gleich starken Eindruck auf das Auge macht (vgl. S. 251). Beide müssten einander proportional bleiben, wenn nicht die ungleiche Empfindlichkeit der Netzhaut für die verschiedenen Farben diess Verhältniss änderte.

Hätten wir nun eine eben so genaue Curve der Wärme als der Leuchtkraft des Spectrum, so würden sich aus der Abweichung beider Curven bestimmtere Schlüsse über die Empfindlichkeitsverhältnisse der Netzhaut ziehen lassen; insofern man diese Abweichungen dann eben blos auf Rechnung der abweichenden Empfindlichkeit der Netzhaut für die verschiedenen Farbestralen zu schieben hätte. Ist diess aber auch nicht der Fall, so kann doch der vergleichende Blick auf die Seebeck'sche Curve der Leuchtkraft (Pogg. LXII. Taf. III. Fig. 4) und die Müller'sche Curve der

Wärme (Pogg. CV. Taf. III. Fig. 4), wovon S. 255 die Rede war, einen gewissen allgemeinen Anhalt in dieser Hinsicht gewähren.

Hienach, und wie schon oben bemerkt, fällt das Maximum der Leuchtkraft mit dem Wärmemaximum gemeinsam in das Gelb, woraus man schliessen muss, dass auch das Maximum der Empfindlichkeit der Netzhaut mit dem Maximum der Intensität der zu ihr gelangenden Stralen merklich zusammenfällt, oder dass die gelben Stralen aus dem doppelten Grunde als die leuchtendsten erscheinen, weil sie die intensivsten sind und weil sie mit der grössten Empfindlichkeit percipirt werden. Von der gemeinsamen Maximumordinate an fällt die Seebeck'sche Curve der Leuchtkraft alsbald convex gegen die Abscissenaxe der Wellenlängen nach beiden Seiten fast symmetrisch ab, die Müller'sche Curve der Wärme concav gegen die Abscissenaxe, nach beiden Seiten ganz unsymmetrisch, langsam zum Roth und Ultraroth, viel rascher zum Violet ab, und die Wärmeordinate an der rothen Gränze des sichtbaren Spectrum ist gleich einer Ordinate etwas diesseits der Linie *F* (also im Blau), so dass indigfarbene, violete, ultraviolete Stralen, welche jenseits der Linie *F* liegen, mit ihren Ordinaten ultrarothen Stralen entsprechen, mithin jene bei einer lebendigen Kraft noch sichtbar sind, bei welcher diese unsichtbar sind; was dahin auszulegen, dass die Empfindlichkeit von ihrem Maximumwerthe für das Gelb viel rascher nach Seiten des Roth als nach Seiten des Violet abnimmt.

Diess Resultat scheint mir gezogen werden zu müssen, in soweit die Zusammenstellung der bisherigen Beobachtungen als massgebend gelten kann. Aber freilich würde es zur völligen Sicherstellung und genauern Bestimmung dieses Resultates nöthig sein, dass sich erst die Untersuchung im Zusammenhange darauf richtete und manche Puncte genauer bestimmte und erledigte, die hier nur als wahrscheinlich geltend gemacht werden konnten oder auf keinen scharfen Bestimmungen ruhen.

Insofern für die Tonhöhen eine untere Gränze und wahrscheinlich auch eine obere Gränze der Perceptionsfähigkeit besteht, kann es jedesfalls an sich nicht unwahrscheinlich erscheinen, wenn etwas Entsprechendes im Gebiete der Farben stattfindet. Nimmt man an, dass die Gesetze der Resonanz, nach welchen sich Schwingungen ausserhalb des Auges zwischen elastischen Medien mittheilen, auch auf die Mittheilung der Lichtschwingungen an die

Netzhaut anwendbar sind, so kann es sogar als nothwendig erscheinen, dass die Netzhaut am leichtesten von der Farbe anklingt, mit der sie am meisten consonirt, sofern elastische Körper bei der Resonanz unter sonst gleichen Umständen den Ton am stärksten wiedergeben, in dem sie selbstständig schwingend erklingen, und aus diesem Gesichtspuncte haben J. Herschel, Melloni und A. Seebeck den Gegenstand gefasst. Nur scheint mir hiegegen die grosse Schwierigkeit zu bestehen, dass die Netzhaut für sich nicht in einem gewissen farbigen Lichte, sondern in weissem Lichte erklingt, sofern das Schwarz des Sehfeldes bei geschlossenem Auge, was einen geringen Grad der Lichtempfindung repräsentirt, farblos, und das gewöhnliche Lichtflackern bei krankhafter Reizbarkeit des Auges, wie ich an mir selbst constatiren kann, weiss oder höchstens ganz zweideutig gelblich ist, was sich an flackernden Puncten nicht recht unterscheiden lässt. Nach der Voraussetzung aber müsste die Netzhaut für sich, ohne äussere Anregung, entschieden in derjenigen Farbe schwingen, für die sie am meisten empfänglich ist.

Ungeachtet ich die Resonanztheorie des Sehens nicht für zulänglich halte, könnte sie doch vielleicht bis zu gewissen Gränzen anwendbar sein, und ich halte es nützlich, zu zeigen, wie man sie bisher zu gestalten versucht hat; daher das Wesentliche der Ansicht von Herschel, Melloni und Seebeck hier folgen mag.

W. Herschel in seinem Werke über das Licht, §. 567 äussert sich wie folgt:

»Obgleich jeder Stoss und jede nach einem Gesetze geregelte Bewegung in einem elastischen Mittel von den Theilchen desselben fortgepflanzt wird, so nimmt man doch in der Theorie des Lichtes an, dass nur solche primitive Stösse, die nach regelmässigen periodischen Gesetzen in gleichen Zeiträumen wiederkehren, und oft hinter einander wiederholt werden, unseren Organen die Empfindung von Licht mittheilen können. Um die Theilchen der Nerven unserer Netzhaut mit gehöriger Wirksamkeit in Bewegung setzen zu können, müssen die fast unendlich kleinen Stösse der anliegenden Aethertheilchen oft und regelmässig wiederholt werden, damit sie ihre Wirkung gleichsam vervielfältigen und concentriren. So wie ein grosses Pendel durch eine äusserst geringe Kraft, die sehr oft in Zeiträumen an demselben angebracht wird, welche der Schwingungszeit desselben genau gleich sind, in Schwingung gesetzt werden kann, oder wie ein fester elastischer Körper durch die Vibrationen eines anderen entfernteren Körpers, vermöge der Fortpflanzung derselben durch die Luft, ebenfalls in schwingende Bewegung geräth, wenn beide im Einklange sind, so können wir auch annehmen, dass die groben Nervenfasern der Netzhaut durch die unaufhörliche Wiederholung der Aetherschläge in Bewegung gesetzt werden, und blos diejenigen

werden sich bewegen, die vermöge ihrer Grösse, Gestalt oder Elasticität fähig sind, in den Zeiträumen ihre Schwingungen zu vollenden, in welchen die Stösse wiederholt werden. Auf diese Art sieht man leicht ein, wie sich eine Begränzung der sichtbaren Farben ergeben muss; denn wenn keine Nervenfasern mit Schwingungen, die mehr oder weniger häufig als gewisse feste Gränzen sind, übereinstimmen, so werden solche Schwingungen, obgleich sie die Netzhaut erreichen, doch keinen Eindruck hervorbringen. So bringt auch ein einzelner oder ein unregelmässig wiederholter Stoss kein Licht hervor, und auf diese Art können auch die in der Netzhaut hervorgebrachten Schwingungen noch eine merkliche Zeit fortdauern, wenn auch die wirkende Ursache aufgehört hat, wodurch die Empfindung von Licht verlängert wird.«

Melloni entwickelt seine Vorstellungen in einem Schreiben an Arago in den *Compt. rend.* T. XIV. p. 823, woraus sich eine Uebersetzung in Pogg. Ann. LVI. 574 (vgl. auch LXII. 25) unter der Ueberschrift: »Beobachtungen über die Färbung der Netzhaut und der Krystalllinse« findet, unter Mitbezugnahme auf eine in der Akademie der Wissenschaften in Neapel gelesene Abhandlung, wo er dieselbe Ansicht ausgesprochen hat. Er sagt:

»Nach den in ebenerwähnter Abhandlung entwickelten Grundsätzen geschähe das Sehen vermöge äusserst rascher Schwingungen, welche die Nerven-Molecüle der Netzhaut unter dem Einflusse einer gewissen Reihe von Aetherundulationen erführen. Diese Vibrationen, betrachtet in Bezug auf die verschiedenen, das Sonnenspectrum zusammensetzenden Undulationen, würden nicht von der Quantität der Bewegung abhängen, sondern herrühren von der grösseren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher die Theilchen der Netzhaut dieser oder jener Aetherschwingung folgen. Es wäre, akustisch gesprochen, eine Art Resonanz der Netzhaut, erregt durch den Accord oder die harmonische Relation, die zwischen der Spannung oder Elasticität seiner Moleculargruppen und der Periode der einfallenden Welle vorhanden ist.

»Die ausserhalb der beiden Gränzen des Spectrum liegenden Undulationen könnten auf der Netzhaut keine Vibrationsbewegung erregen, und wären sonach unsichtbar, weil ihnen jede Art von Accord mit der Molecular-Elasticität dieser Membran des Auges abgienge. Die zwischen Gelb und Orange liegenden, also, nach Fraunhofer, dem Maximum der Lichtstärke entsprechenden Undulationen würden dagegen die mit erwähnter Elasticität der Netzhaut homogensten Vibrationen liefern, und den Moleculen dieser Haut die ausgeprägteste Vibrationsbewegung mittheilen.

»Es versteht sich, dass nach dieser Theorie, wie nach jeder anderen, die man zur Erklärung des Sehens und der optischen Phänomene im Allgemeinen erdacht hat, die Lichtmenge abhängt von der Intensität der Stralung, die, für uns, aus der Weite der molecularen Vibrationen entspringt; denn unter gleichen Umständen könnte z. B. der blaue Stral des Sonnenspectrums, wegen seines schwachen Accordes mit der Spannung der Netzhaut-Molecule, sehr wohl eine zehn Mal geringere Lichtmenge entwickeln als der gelbe

Stral; allein die leuchtende Wirkung beider Stralen würde offenbar gleich werden, wenn die schwingenden Atome in der blauen Undulation einen zehn Mal grösseren Raum durchliefen als die in der gelben Undulation.

»Die Verhältnisse zwischen den Intensitäten dieser verschiedenen Schwingungsbewegungen des Aethers würden, nach unserer Betrachtungsweise, geliefert werden durch die verschiedenen Temperaturen, welche ein wohl mit Kienruss überzogener thermoskopischer Körper unter dem Einflusse der Stralungen annimmt«

Melloni folgert nun aus dem Umstande, dass, während Temperatur und Leuchtkraft vom Violet bis zum Gelb mit einander steigen, die Temperatur vom Gelb zum Roth aber noch wächst, während die Leuchtkraft vom Gelb zum Roth abnimmt, die Nothwendigkeit, der Netzhaut eine geringere Consonanz mit den orangefarbenen und rothen, als mit den gelben Stralen beizulegen, welche Folgerung freilich nicht mehr bindend erscheint, wenn in dem gleicherweise reducirten Wärme- und Lichtspectrum das Maximum sowohl für Wärme als Helligkeit im Gelb liegt (vgl. S. 255), aber doch in etwas anderer Form nach der ungleichen Abnahme der Wärme und Helligkeit vom Maximum an sich nur in etwas anderer Form wieder herstellen lässt.

Weiter setzt Melloni den Satz, dass die Netzhaut am besten mit dem Gelb consonire, in Beziehung mit einer gelben Färbung der Netzhaut, welche am sog. Sömmering'schen gelben Flecke direct constatirbar ist, und nach Melloni auch der übrigen Netzhaut zukommt, wenn man sie unter gewissen Vorsichten zusammenfaltet, wonach und nach anderen Umständen er schliesst, dass sie am gelben Flecke blos wegen der grösseren Dicke der Nervenschicht leichter sichtbar sei.

»Ein Körper nämlich ist — nach Melloni — roth, grün oder blau, je nachdem die Spannung seiner Theilchen mehr consonirt mit der Schwingungsperiode der rothen, grünen oder blauen Undulationen, und daraus folgt nothwendig, dass eine Substanz, deren Theilchen unter der Einwirkung dieser oder jener Licht-Undulation besser schwingen, nothwendig farbig ist.«

A. Seebeck führt seine Ansicht in einer brieflichen Mittheilung an Poggendorff unter der Ueberschrift: »Bemerkungen über Resonanz und über die Helligkeit der Farben im Spectrum« in Pogg. Ann. LXII. 571 aus, unter Bezugnahme auf eine frühere Abhandlung (in demselben Bande S. 299), worin er untersucht hat, wie sich eine in Luft schwingende elastische Platte bei der Resonanz verhält.

»Aus jener Theorie des Mittönens, sagt er, hat sich ergeben, dass eine Platte, wie ich sie dort annahm, deren eigene Schwingungsmenge n ist, getroffen von einem Wellenzuge von der Form $a \cos (mt + \Theta)$ stets nach einiger Zeit in eine Bewegung übergeht, welche durch $\alpha \cos (mt + \Theta)$ vorgestellt wird, wo die Schwingungsweite α um so grösser im Verhältnisse zu a ist, je weniger m von n verschieden ist.«

»Sehr leicht ergiebt sich aus der gefundenen Formel für α folgender Satz*): »Lässt man auf die Platte zwei gleich starke Töne

---

*) Die von Seebeck gemeinte Formel (Pogg. LXII. 299, LXVIII. 459) ist

wirken, so ist das Mittönen von gleicher Intensität, im Falle der höhere Ton um das gleiche Tonintervall **über** dem Tone der Platte liegt, wie der tiefere **unter** demselben, z. B. wenn jener um eine Quarte höher, dieser um eine Quarte tiefer ist, als der eigene Ton der Platte. Zeichnet man daher eine Curve der Resonanzstärke, indem man die Wellenlängen als Abscissen und die Intensitäten des Mittönens als Ordinaten nimmt, so wird diese Curve nicht zu beiden Seiten ihres Maximums symmetrisch, sondern fällt auf der Seite der kürzeren schneller. (Sie würde symmetrisch werden, wenn man statt der Wellenlängen deren Logarithmen als Abscissen nähme).«

Nach Hinweis auf die im Originale (Pogg. LXII. Taf. III. Fig. 3) verzeichnete Curve dieser Intensitäten fährt Seebeck fort:

»Ich werde jetzt versuchen, diese Betrachtungen auf die sogenannte Resonanz der Netzhaut anzuwenden, unter der allerdings nicht verbürgten Annahme, dass der vorhin ausgesprochene Lehrsatz, welcher für die longitudinalen Schwingungen der Schallwellen gefunden worden, unter gewissen Beschränkungen auf die transversalen der Lichtwellen übertragen werden darf.

»Denken wir uns, die Netzhaut bestehe aus Theilchen, welche für sich, nach blossem Anstossen, eigene Schwingungen machen, ganz eben so wie jene Platte. Das subjective Licht, welches wir bei der Erregung des Auges durch Stoss oder elektrische Entladung wahrnehmen, würde dann wahrscheinlich in solchen eigenen Schwingungen der Netzhaut bestehen. Nehmen wir an, dass der Werth von n für alle Theilchen der Netzhaut gleich sei, d. h. dass jenes subjective Licht homogen sei, oder, was auf dasselbe hinauskommt, ziehen wir nur solche Theilchen in Betracht, welche einerlei n haben, und lassen wir nun auf diese Theilchen Lichtwellen von irgend einer Länge wirken, so müssen die Schwingungen der Netzhaut nach einiger Zeit denen des erregenden Wellenzuges isochronisch werden, dabei aber um so stärker sein, je weniger die Wellenlänge des einfallenden Lichtes von der des eigenen (subjectiven) Lichtes der Netzhaut verschieden ist. Lassen wir also nach einander Wellen von verschiedener Länge, aber gleicher Stärke (gleichem Werthe von am) auf die Netzhaut wirken, so muss ihre Resonanz

---

$$\alpha = \frac{2\,b\,a\,m}{\sqrt{(n^2 - m^2)^2 + 4\,b^2 m^2}}$$

worin α die Schwingungsamplitude der resonirenden Platte, a die Amplitude der Schwingungen, welche die Platte zur Resonanz erregen, n die eigene Schwingungszahl der resonirenden Platte, m die der erregenden Schwingungen, b eine von dem Widerstande der Bewegung abhängige Constante ist.

Der obige Satz folgt daraus, dass α denselben Werth annimmt, wenn man für m substituirt xn und $\frac{n}{x}$, welche Zahl auch x sei. Ausserdem wird man leicht noch den Satz daraus ableiten können, dass, wenn n und n' die eigenen Schwingungszahlen zweier verschiedenen Platten sind, α für sie gleich wird, wenn sie durch die Beziehung verknüpft sind

$$n^2 + n'^2 = 2\,m^2.$$

und die dadurch bedingte Lichtempfindung von ungleicher Stärke sein, und es würden sich die Wirkungen auf unser Organ durch eine Resonanzcurve darstellen lassen, jener ähnlich, welche ich vorhin für die Platte gezeichnet habe, wobei nur der Werth von n und b aus der Erfahrung bestimmt werden müsste.

»Liesse sich diese Curve durch eine zweckmässige Wahl von b und n identisch machen mit einer anderen, welche die beobachteten Helligkeiten des Farbenspectrum darstellt, so würde man vermuthen dürfen, dass die Wellen in der ganzen Ausdehnung des Spectrum von gleicher Stärke (lebendiger Kraft) sind; auf eine ungleiche Vertheilung dieser Stärke aber müsste man schliessen, wenn jene beiden Curven sich nicht in Uebereinstimmung bringen lassen.

»Das Letztere ist nun in der That der Fall, wovon ich mich bereits vor einiger Zeit durch Vergleichung Fraunhofer'scher Messungen überzeugt habe.«

Seebeck giebt nun die schon S. 251 mitgetheilte Reduction des prismatischen Spectrum auf ein Gitterspectrum, verzeichnet hienach ebenfalls eine Curve (Pogg. LXII. Taf. III. Fig. 4) und fährt fort:

»Vergleicht man diese Curve mit der vorigen (Fig. 3), »so bemerkt man sogleich aus dem ganz ungleichen Gange beider, dass — unter den im Eingange bemerkten Voraussetzungen — die wahren Intensitäten ($a^2 m^2$) sich nicht gleichmässig über die ganze Ausdehnung des Spectrum erstrecken können, indem das Maximum eine ganz andere Lage zwischen je zwei Stellen gleicher Helligkeit hat, als diess bei der Resonanzcurve für gleiche Wellenstärken möglich sein würde. Ist nun die Wellenstärke ungleich für verschiedene Theile des Spectrum, so muss die Helligkeitscurve eine Function von ihr und von der ungleichen Resonanzfähigkeit der Netzhaut werden, so dass, um über die letztere zu urtheilen, man die erstere (die Wellenstärke) kennen müsste. Das Maximum der Helligkeit muss von der Natur dieser beiden Veränderlichen abhängen. Nimmt z. B. die Wellenstärke vom Roth bis zum Violet fortwährend ab — wie das unter der Annahme des Identitätsprincipes auch dann der Fall zu sein scheint, wenn man auch hier die ungleiche Ausbreitung im prismatischen Bilde in Anschlag bringt, so müsste, bei meinen Voraussetzungen, also die eigene Schwingungsmenge n der Netzhaut schon ins Blaugrün oder Blau hineinfallen*). Diess ist ein ganz anderes Resultat, als jenes, zu welchem Melloni, ohne Frage von ganz verschiedenen Prämissen ausgehend, gelangt ist, indem er die grösste Resonanzfähigkeit dahin setzt, wo die grösste Helligkeit wahrgenommen wird.

»Ich habe diese Berechnung unter der einseitigen Voraussetzung ausgeführt, dass alle Theile der Netzhaut einerlei n haben, weil es mir nicht ohne Nutzen zu sein schien, die Analogie, auf welche man in diesem Gegenstande

---

*) »Sollte vielleicht hierin der Grund liegen, warum die grüne Farbe unserem Auge so wohlthätig ist? Allein dann müsste wahrscheinlich das subjective Licht ebenfalls grün oder bläulich sein, was sich, wie ich glaube, nicht bestätigt.«

einmal gewiesen ist, an einem solchen einfachen Beispiele durchzuführen. Ich halte jedoch diese Voraussetzung selbst nicht für wahrscheinlich. Dürfen aber mehrere *n* beliebig angenommen werden, so wird es möglich sein, jede gegebene Helligkeitsskala mit jeder gegebenen Vertheilung der Wellenstärken in Einklang zu bringen. Auf diese Weise wird es, unter der Annahme des Identitätsprincipes, möglich sein, die Vorstellung von einer Resonanz der Netzhaut, oder vielleicht von mehreren solchen Resonanzen festzuhalten, wie man auch die Vertheilung der Wärme im Spectrum oder des bis zur Netzhaut gelangenden Theiles derselben finden möge. Ob aber die Werthe der *n*, welche angenommen werden müssen, um die Wärmeskala mit der Helligkeitsskala in Einklang zu bringen, wirklich in der Natur des Auges begründet sind, darüber dürften die subjectiven Gesichtserscheinungen einigen Aufschluss zu geben geeignet sein.«

b) Puncte der Uebereinstimmung und Verschiedenheit zwischen den Empfindungsgebieten von Licht und Schall.

Als Puncte der Uebereinstimmung sind insbesondere folgende geltend zu machen.

1) Lichtempfindungen und Schallempfindungen sind sinnliche Empfindungen, beide, wenn auch in verschiedenem Sinne, die Hauptunterlagen unserer höheren geistigen Entwickelung, beide einer grossen Mannichfaltigkeit von Modificationen, Abwandelungen und der Zerlegung durch die Betrachtung in verschieden auffassbare, wenn schon nicht wirklich geschiedene Seiten (Stärke und Farbe bei Licht, Stärke, Höhe und Klang bei Tönen) fähig.

2) Beide hängen von den Schwingungen eines elastischen Mediums als äusserem Reize ab, können aber auch ohne äusseren Reiz aus inneren Gründen entstehen. Wahrscheinlich liegen ihnen auch innerlich Schwingungen zu Grunde, welche durch die äusseren anregbar sind.

3) Bei beiden schiebt sich zwischen den äusseren Reiz und den Sinnesnerven ein, normalerweise doppeltseitiges, Sinnesorgan ein, wodurch die Form und Wirkungsweise des äusseren Reizes bei seiner Einwirkung auf das Nervensystem mitbestimmt wird.

4) Die Qualität der Töne wie der Farben hängt von der Schwingungsdauer oder Schwingungszahl, die Stärke derselben von der Amplitude der erregenden Schwingungen ab. Bezüglich der Amplitude und der davon abhängigen Stärke der Empfindung gilt für beide das Weber'sche Gesetz.

5) Verschiedene Töne wie verschiedene Farben vermögen im

Zusammentreffen einen Eindruck zu erzeugen, welcher dem eines einfachen Tones, einer einfachen Farbe entspricht. Bei Tönen beziehe ich mich hiebei auf die sog. Tartini'schen oder Combinationstöne.

6) Wie es Gränzen der Hörbarkeit der Töne giebt, so auch Gränzen der Sichtbarkeit der Farben, wobei es beiderseits noch der Erörterung unterliegt, in wieweit diese Gränzen auf mangelnder Perceptionsfähigkeit der Nerven für sehr schnelle und langsame Schwingungen, oder darauf beruhen, dass nach der Einrichtung unserer äusseren Sinnesorgane Schwingungen über und unter einem gewissen Grade der Schnelligkeit gar nicht zu den Nerven zu gelangen vermögen.

Von dem, was in dieser Hinsicht für Töne gilt, ist schon Th. I. S. 258 und Th. II. S. 169, von dem, was für Farben gilt, im vorigen Abschnitte dieses Kapitels zur Genüge die Rede gewesen.

7) Die Annäherung, welche der Farbeneindruck des Violet am einen Ende des gewöhnlichen Sonnenspectrum an den des Roth am anderen zeigt, kann in gewissem (freilich eben nur in gewissem) Sinne mit der periodischen Wiederkehr eines analogen Toneindruckes nach dem Intervalle einer Octave verglichen werden.

Zwar vermehrt sich beim Uebergange von den gewöhnlich sichtbaren violeten zu den ultravioleten Stralen keinesweges die Annäherung an den Eindruck des Roth (durch zu erwartende Purpurtinten), wie man nach der Analogie mit Tönen voraussetzen müsste, sondern das Blau kehrt zurück*). Der ultraviolete Theil des Spectrum (jenseits Stokes Gruppe *l*) erscheint bei schwacher Intensität indigblau, bei starker Intensität weissblau, doch schliesst Helmholtz aus seinen Versuchen (Pogg. XCIV. 210), »dass die Umkehr in der Farbenreihe, welche beim übervioleten Lichte stattfindet, sich so erklären lasse, dass einer schwachen Empfindung violeter Farbe, welche diese Lichtstralen direct erregen, sich die Wahrnehmung des in der Retina durch Fluorescenz erzeugten grünlich weissen Lichtes (s. S. 248) zugeselle, und beide Farbenempfindungen vereinigt die weisslich indigblaue Färbung geben, welche die übervioleten Stralen darbieten, wenn sie direct gesehen werden.«

---

*) Vgl. Pogg. XCIV. 14. 206, XCVIII. 514.

Helmholtz giebt (Pogg. XCIV. 13) von dem brechbarsten Theile des Sonnenspectrum (isolirt von dem hellen Theile des Spectrum betrachtet und von zerstreutem Lichte frei, mittelst Glasprisma's erhalten) folgende Beschreibung: »Bei geringer Lichtstärke hat der Raum zwischen den Linien *G* und *H* eine ziemlich gleichmässige violete Färbung, die sich auch noch auf die Gegend von Stokes' Gruppe *l* ausdehnt. Je lichtschwächer das Violet wird, desto mehr bekommt es einen Anflug von Rosa. Steigert sich die Lichtintensität, so wird der Farbenton dem Blau ähnlicher und entfernt sich immer mehr vom Purpur; er geht dann in ein weissliches Graublau über. Die übervioleten Stralen jenseits der Gruppe *l* setzen die Farbenreihe keineswegs nach dem Purpur hin fort, sondern sind wieder indigblau bei geringer Lichtstärke, weissblau, wo es gelingt, sie in grösserer Lichtstärke zu sehen. Ich habe das überviolete Licht mehreren anderen Personen gezeigt, um nicht durch eine Eigenthümlichkeit meines Auges getäuscht zu werden, und alle bezeichneten die Farbe in der Weise, wie ich angegeben habe. Unter allen diesen brechbaren Farbentönen kommt also lichtschwaches Violet, etwa aus der Gegend der Linie *A**) dem Purpur am nächsten; aber auch dieses ist durch einen weiten Zwischenraum in der Farbenreihe von dem äussersten Roth getrennt. Man kann in meinem Apparate durch Mischung von Violet und Roth eine sehr grosse Anzahl unterscheidbarer purpurner Farbentöne bilden, welche sich alle zwischen die Farben der beiden äussersten Enden des Spectrum einreihen lassen.«

Anderorts (Pogg. XCIV. 208) sagt er (bezüglich eines, mittelst eines Bergkrystallapparates erhaltenen Spectrum): »das Auge schien für die äussersten übervioleten Stralen des Sonnenlichtes keinen geringeren Grad von Empfindlichkeit zu haben, als für die der Gegend von *m*. Soweit Chininpapier das Vorhandensein von Stralen anzeigte, konnte sie auch das Auge empfinden. Eine Aenderung der Farbe konnte ich in der ganzen Ausdehnung von *l* an bis zum Ende nicht bemerken, ausser, dass die lichtschwächeren Stellen ein dem Violet ähnlicheres Indigblau zeigten. Alle indigblauen Stralen werden aber bei geringerer Helligkeit dem Violet ähnlicher. Bei gleicher Lichtstärke schien aber die Farbe der übervioleten Stralen doch weisslicher zu sein, als die der gewöhnlichen indigblauen.«

Esselbach (Pogg. XCVIII. 515) sagt (bezüglich eines, mit einem Bergkrystallapparate entworfenen) Spectrum: »Der physiologische Eindruck ist in dem Theile des Ultraviolet von *N* bis *R* der desselben »»Lavendelgrau««, wie zwischen den Linien *L* und *N*. Meistens erscheinen die Linien sehr scharf auf mattem graublauen Grunde; bei geringerer Helligkeit erscheint der Grund glänzend indigblau und bei noch grösserer Lichtschwäche bisweilen, besonders an den Gränzen des Gesichtsfeldes, in entschiedenem Violet. Diess während der Beobachtung oft gesehene Farbenspiel stimmt ganz mit Helmholtz Erklärung dieser Farbe überein, wonach ihre kurzen Wellen theils unmittelbar als wenig intensives Violet, theils durch Vermittelung einer weissen, grünlich blauen Fluorescenz percipirt werden.«

---

*) Diess muss verdruckt sein (für *H*?), da *A* dem Roth angehört.

8) Wir sehen normalerweise mit beiden Augen nur einfach und hören mit beiden Ohren nur einfach.

9) So wie es nach S. 169 f. Individuen giebt, welche für die Töne eines gewissen Theiles der normalerweise hörbaren Tonskala unempfänglich sind, so solche, welche für einen gewissen Theil der normalerweise sichtbaren Farbenskala unempfänglich sind.

Diesen Vergleich zieht schon A. Seebeck (Pogg. LXVIII. 461). Eine Zusammenstellung über die mannichfachen Formen mangelhaften Farbensinnes findet sich u. a. in Rüte's Ophthalmologie S. 179 ff.

Als Hauptpuncte der Verschiedenheit sind hingegen folgende geltend zu machen.

1) Licht- und Schallempfindungen tragen einen verschiedenen Grundcharakter.

2) Die Beschaffenheit und Verhältnisse der äusseren Schwingungen, welche als Reize zur Erweckung der Licht- und Schallempfindungen dienen, und die Sinnesorgane, durch die sie an den nervösen Apparat übertragen werden, sind bei Licht und Schall sehr verschieden, wonach auch Verschiedenheiten der dadurch erweckten inneren Vorgänge in unserem Nervensysteme, wovon die Empfindung functionell abhängt, als wahrscheinlich gelten können.

3) Das Licht, wodurch die Lichtempfindungen in uns erweckt werden, beruht insbesondere auf sehr schnellen und schnell fortgepflanzten Schwingungen von sehr kleiner Amplitude in einem imponderabeln, sehr dünnen Medium, dem Aether; der Schall, wodurch die Schallempfindungen in uns erweckt werden, auf verhältnissmässig viel langsameren und langsamer fortgepflanzten Schwingungen von viel grösserer Amplitude in einem wägbaren dichteren Medium, der Luft. Jene beruhen auf blosser Verschiebung der Aethertheilchen gegen einander, ohne Verdichtung und Verdünnung des Aethers, diese auf Näherung und Entfernung der Theilchen mit Verdichtung und Verdünnung der Luft. Die Lichtschwingungen sind transversal, d. i. auf ihrer Fortpflanzungsrichtung, der des Lichtstrals, senkrecht und können geradlinig, kreisförmig, elliptisch sein und die verschiedensten zusammengesetzten Formen haben; die Luftschwingungen sind longitudinal, d. h. fallen der Richtung nach mit der Fortpflanzungsrichtung des Schalles, der Richtung des Schallstrals zusammen, und sind unstreitig in gleichförmig dichter Luft als geradlinig anzusehen.

4) Bei der Einrichtung des Auges ist Sorge getragen, dass Lichtstralen, die von einem Puncte ausgehen, auch wieder in einem Puncte der von den Lichtstralen getroffenen Nervenhaut zusammentreffen und die Lichteindrücke sich in ähnlicher Weise auf der Netzhaut juxtaponiren, als in der Aussenwelt, so dass ein Bild der Aussendinge auf der Netzhaut entsteht. Bei der Einrichtung des Ohres ist keine solche Einrichtung getroffen, und es kann kein Schallbild der äusseren Gegenstände im Ohre entstehen. Hingegen sind im Ohre andere eigenthümliche Einrichtungen getroffen, deren Deutung bezüglich der Perception des Schalles zum Theil klar, zum Theil unklar ist. Besonderer Beachtung werth sind gewisse feine Tastenapparate, mit denen nach neuen anatomischen Entdeckungen die Enden der Hörnerven in Beziehung stehen, worauf unten zurückzukommen sein wird.

5) Durch die verschiedenen Gehörnervenfasern kann der Eindruck räumlicher Juxtaposition überhaupt nicht erhalten werden, wie es durch die verschiedenen Sehnervenfasern der Fall ist, indem die Gleichzeitigkeit verschiedener Töne einen anderen Eindruck macht, als den der räumlichen Coordination, ein Unterschied, der unabhängig davon besteht, dass die Schallstralen kein Bild der schallenden Gegenstände im Ohre erzeugen; denn wenn Lichtstralen, die von einem Puncte ausgegangen sind, sich über die Netzhaut zerstreuen, wie es bei mangelnder Accommodation der Fall ist, erscheinen sie dessenungeachtet in einer Fläche ausgebreitet, räumlich explicirt.

6) Die Lichtempfindung hat die Fähigkeit, sich räumlich gestalten zu lassen, mit der Tastempfindung gemein, indess für die Tonempfindung keine entsprechende nähere Verwandtschaft mit einer anderen Sinnesempfindung besteht.

7) Selbst ohne äusseren Lichtreiz haben wir normalerweise eine Lichtempfindung, die des schwarzen Gesichtsfeldes, als welche nach früheren Erörterungen sich in der That den Lichtempfindungen einreiht, wogegen wir normalerweise ohne äusseren Schallreiz keine Schallempfindung haben; wonach die psychophysische Thätigkeit des Sehens, aber nicht die des Hörens in unserem Nervenapparate ohne äusseren Reiz über der Schwelle ist.

8) Die Skala der sichtbaren Farben beträgt nach den Erörterungen des vorigen Abschnittes dieses Kapitels etwa 1 Octave

+ 1 Quarte, indess die der hörbaren Töne eine ganze Anzahl Octaven beträgt.

9) Durch den psychischen Act der Aufmerksamkeit lässt sich unter gewissen Beschränkungen ein Schallgemisch in solcher Weise in seine Componenten zerlegen, dass wir uns abwechselnd der einen vor der anderen bewusst werden können; wogegen in Bezug auf Farbengemische der Aufmerksamkeit ein solches Vermögen überhaupt nicht zusteht.

Mehrseitig hat man bezweifelt oder geleugnet, dass bei reinen Tongemischen eine wirkliche Unterscheidbarkeit der einzelnen Töne stattfinde und hierin ein wesentlicher Unterschied derselben von Farbengemischen bestehe. Wenn Musiker einen falschen Ton in einem Concerte heraushören und selbst das Instrument bezeichnen können, was ihn gegeben, so beruhe diess nur darauf, dass sie an dem Charakter, welchen das ganze Tongemisch dadurch annehme, das Dasein des falschen Tones erkennten, ohne doch diesen besonders herauszuhören, wie man ja auch die Zumischung einer Farbennuance zum Weiss wohl erkennen und das geübte Auge des Malers sogar entscheiden kann, auf welcher Art Zumischung sie beruht, ohne doch dieselbe besonders und mit Beseitigung des Weiss ins Bewusstsein heben zu können.

Nun ist gar nicht zu leugnen, dass die Unterscheidbarkeit von Tönen in reinen Tongemischen ihre durch den Grad der Uebung und Aufmerksamkeit mitbestimmte Gränze hat; wenn ich aber auch bei meinem sehr schlechten musikalischen Gehöre geneigt sein könnte, mich einer solchen Auffassung zu fügen, so widersprechen doch Musiker mit gebildetem Gehöre derselben entschieden. Der Musikdirector Hauptmann in Leipzig hat mir auf mein Befragen in bestimmtester Weise erklärt, dass er allerdings im Stande sei, aus einem Accorde gleichzeitig angeschlagener Töne den einen oder anderen besonders herauszuhören, und zwar nicht blos, wenn er unrein sei, sondern auch, wenn der ganze Accord rein sei. In demselben Sinne äussert sich Helmholtz an mehreren Orten u. a.*): »da nun die Erfahrung lehrt, dass überall, wo die mathematisch-mechanische Untersuchung zusammengesetzte Wellenbewegungen nachweist, ein geübtes Ohr Töne unterscheiden kann, welche den darin enthaltenen einfachen Wellenbewegungen entsprechen, so u. s. w.«; und anderorts**) in Beziehung auf Klänge, in welchen ein Grundton von Obertönen begleitet ist. »In der unmittelbaren Empfindung werden allerdings die einzelnen vorhandenen einfachen Töne bei gehörig angespannter Aufmerksamkeit immer von einander getrennt, während sie in der Vorstellung zusammenfliessen in den sinnlichen Eindruck, den der Ton eines bestimmten tönenden Körpers auf unser Ohr macht, und es gehört meist eine künstliche Unterstützung der Aufmerksamkeit dazu, um die einzelnen Elemente der zusammengesetzten Empfindung von einander zu schei-

---

*) Pogg. XCIX. 502.
**) Pogg. CVIII. 282.

den, eben so wie es z. B. besondere Beobachtungsmethoden erfodert, um sich zu überzeugen, dass die Anschauung der Körperlichkeit eines betrachteten Gegenstandes auf der Verschmelzung zweier verschiedener Bilder desselben in beiden Augen beruhe.« Dazu theilt Helmholtz (S. 287) die Beschreibung eines Instrumentes mit, welches auch den ganz Ungeübten in den Stand setzt, die Obertöne jedes musikalischen Tones herauszuhören, »was bisher — sagt er — eine Aufgabe war, die nur durch andauernde Uebung und mit grosser Anstrengung der Aufmerksamkeit gelöst werden konnte.«

10) Indess Lichtempfindungen und Schallempfindungen in der, von gleichem physischen Umstande (der Schwingungs-Amplitude) abhängigen, Stärke eine gemeinsame psychische Seite haben, ist dagegen die, nicht minder von gleichem physischen Umstande (der Schwingungszahl) abhängige, Farbe und Tonhöhe bei beiden psychisch unvergleichbar und ertheilt eben hiedurch beiden Empfindungen den qualitativ verschiedenen Grundcharakter, den wir bei denselben anzuerkennen haben. Abgesehen von dem unmittelbaren Gefühle der Verschiedenheit sind folgende Verhältnisse in dieser Hinsicht bei beiden verschieden.

11) Bei Tönen steigt mit der Schwingungszahl die Höhe continuirlich und nur in Beziehung zu einander zeigen sie den eigenthümlichen Eindruck der Terz, Quarte, Quinte, Octave u. s. f. Bei Farben zeigt sich mit steigender Schwingungszahl nichts der continuirlich wachsenden Höhenempfindung Entsprechendes, sondern ein Wechsel charakteristischer Eindrücke, Roth, Gelb, Blau, die an die Schwingungszahl selbst, nicht erst an Verhältnisse derselben geknüpft sind und wovon sich kein Analogon im Tonreiche findet, als etwa im Klange, der aber hier nur an Mitschwingungen höherer Ordnung hängt*). Umgekehrt zeigt der Eindruck, welchen das Contrastverhältniss der Farben zu einander macht, keine Analogie zu dem Verhältnisse der Terz, Quarte, Quinte, Octave u. s. w. im Reiche der Töne.

Moser, in einer Abhandlung »Ueber den Process des Sehens und die Wirkung des Lichtes auf alle Körper« in Pogg. Ann. LVI. 177, worin die Wirkungen des Lichtes auf die Netzhaut mit den daguerreotypischen Lichtwirkungen, nicht sowohl identificirt, als verglichen werden, äussert sich

---

*) »Die musikalische Klangfarbe hängt nur ab von der Anwesenheit und Stärke der Nebentöne, die in dem Klange enthalten sind, nicht von ihren Phasenunterschieden« (Helmholtz in Pogg. CVIII. S. 289). Doch werden einige Beschränkungen hiezu angeführt.

(p. 192) wie folgt: »die Farben machen, so zu sagen, einen vollständigen, nicht mit einander zu verwechselnden, Eindruck, die verschiedenen Töne bewirken einen solchen nicht. Allerdings verwechselt man nicht gerade sehr hohe und sehr tiefe Töne, aber desto leichter geschieht das von einem gewöhnlichen Ohre bei etwas näher liegenden Tönen, und jedesfalls gehört ein besonders feines und musikalisch gebildetes Ohr dazu, einen Ton der üblichen Bezeichnung nach angeben zu können, während das Auge bei der Bestimmung der Farben eine Schwierigkeit solcher Art gar nicht kennt. Viel eher könnte man geneigt sein, die Höhe oder Tiefe eines Tones mit der Intensität einer bestimmten Farbe, und dagegen die verschiedenen Farben mit dem Klange des Tones zusammenzustellen. Mir sind wenig Menschen vorgekommen, die auf Befragen das Letztere nicht bestätigt hätten.«

12) Die periodische Wiederkehr desselben Farbeneindruckes bei steigender Schwingungszahl, welche durch das Violet und Roth an beiden Enden des Spectrum angedeutet wird, kann abgesehen davon, dass die Annäherung zum ersten Eindrucke schon nach dem Intervalle einer Quinte eintritt, und dass diese Annäherung sich bei dem Fortschritte zum Octavenintervalle vielmehr wieder vermindert als vermehrt (was den S. 268 angegebenen Grund haben kann), nur uneigentlich mit der periodischen Wiederkehr verglichen werden, welche das Octavenintervall bei Tönen darbietet. Denn bei diesem liegen alle Töne mit Zwischenzahlen der Schwingung auch für das Gefühl zwischen Grundton und Octave; es wird also ein wirklicher Abstand zwischen Grundton und Octave für das Gefühl dadurch begründet, wogegen die Farben zwischen den beiden Gränzen des Spectrum für das Gefühl nicht zwischen Roth und Violet zu liegen scheinen und noch weniger zwischen Roth und Roth liegen würden, falls diess die dem Intervalle der Octave entsprechenden Farben wären. Es fehlt also bei Farben für das Intervall der Octave das progressive Element, was bei Tönen stattfindet.

13) Für den Vergleich aller Farben liegt der Empfindung als gemeinsamer Ausgangspunct das Weiss, die zusammengesetzteste Farbe, unter, sofern alle Farben als Abweichungen davon in verschiedener Richtung betrachtet werden können, wogegen die Empfindung als Ausgangspunct für den Vergleich aller Töne nur einen einfachen Ton als Grundton brauchbar findet.

14) Die Differenzen der Tonhöhen sind schon ohne Rücksicht auf ein physisches Mass auf rein psychischem Wege durch Beziehung auf eine gemeinsame Masseinheit, das Octavenintervall, un-

ter einander vergleichbar; die Farbendifferenzen tragen keine Beziehung auf einen solchen Massstab für die Empfindung in sich.

15) Der Unterschied von Tonhöhen erscheint bei gleichem Verhältnisse der zugehörigen Schwingungszahlen gleich gross in den höheren und niederen Theilen der Tonskala, nicht so der Unterschied der Farben in den verschiedenen Theilen der Farbenskala, wie der von Helmholtz*) auf Esselbach's Messungen gestützte Vergleich lehrt, wovon Th. I. S. 175 die Rede war, und welchen man auch nach der Tabelle S. 241 selbst anstellen kann. Mit anderen Worten, das Weber'sche Gesetz gilt für Tonhöhen, aber nicht für Farben nach ihrer Abhängigkeit von der Schwingungszahl.

Hiezu noch folgende Erläuterungen von Helmholtz in Pogg. XCIV. 17. »In dem breiten Raume vom Ende des Roth bis zur Linie *C* ändert sich der Ton des Rothen kaum merklich, eben so wenig der Ton des Violeten von der Linie *G* bis nach *l* hin. Auch in Orange und Blau ändert sich der Ton langsam, aber doch schon viel merkbarer. An der Gränze von Gelb und Grün einerseits und Blau und Grün andererseits sind dagegen die Uebergänge so schnell, dass sie ganz zu fehlen scheinen, wenn man ein reines Spectrum ohne starke Vergrösserung betrachtet, und hier vielmehr Grün unmittelbar an röthliches Orange und Himmelblau anzustossen scheint. Man erstaunt über den ausserordentlichen Reichthum prachtvoller Farbentöne, welchen diese Gegenden des Spectrum entfalten, wenn man durch eine der beiden Spalten des von mir construirten Schirmes einfaches Licht dieser Theile gehen lässt und den Spalt dann langsam verschiebt.«

16) Ohne Rücksicht auf die entsprechende physische Abhängigkeit würden wir keineswegs geneigt sein, das Roth des Spectrum den tieferen, das Blau und Violet den höheren Tönen zu vergleichen, sondern eher umgekehrt, ungeachtet das Roth wie die tiefen Töne langsameren, das Violet und Blau wie die hohen Töne schnelleren Schwingungen entspricht.

Grailich**) glaubt den lebhaften Eindruck des Roth daher ableiten zu können, dass wegen der langsameren Schwingungen die Theilchen länger aus der Ruhelage verrückt bleiben, was eine stärkere Reizung bewirke, wogegen sich meines Erachtens doch sehr viel einwenden lässt.

17) Der ästhetische Eindruck der Farbenzusammenstellungen richtet sich nach ganz anderen Verhältnissen als der der Töne. Wenn man alle Töne einer Octave in zwei Theile theilt und jede

*) Berichte der Berl. Akad. 1855. S. 760.

**) Sitzungsber. der Wien. Akad. 1854. XIII. S. 258.

beider Hälften zusammen anschlägt, so hat man physisch, aber keineswegs psychisch das Analogon zweier Complementärfarben, die sich zu Weiss ergänzen. Indess die Farben jede für sich wohlgefällig sind und eine wohlgefällige Zusammensetzung geben, findet bei den Tönen Missklang statt.

Der mehrfach gemachte Versuch, eine Farbenharmonie auf Grund einer Analogie mit der Tonharmonie zu begründen, die nicht besteht, scheint mir daher von vorn herein vergeblich.

18) Durch Zusammensetzung einfacher Farben lässt sich eine Farbe herstellen, welche wiederum einen untrennbar einfachen Eindruck macht, in welchem die componirenden Eindrücke aufgehoben sind. Wenn wir hingegen einfache Töne zusammensetzen, so entsteht zwar im Tartinischen Tone auch ein resultirender einfacher Eindruck, welcher dem eines einfachen Tones gleicht; aber die componirenden Eindrücke bestehen dabei zugleich mit fort.

19) Bei Farben lässt sich ein, der Mischung aller Farben, dem Weiss, entsprechender Eindruck schon durch zwei einfache Complementärfarben erzeugen; nicht so ein Geräusch durch Verbindung zweier einfacher Töne.

Nach Helmholtz Versuchen*) und Grassmann's theoretischen Erörterungen**) giebt es zu jedem einfachen homogenen Farbenstrale einen anderen homogenen complementären Stral, der mit ihm gemischt reines Weiss liefert. Folgendes die von Helmholtz gegebene Tabelle über die Wellenlängen der zu einander gehörigen Complementärfarben, in Millionteln eines Pariser Zolles.

Farben.	Wellenlänge.	Complementärfarben.	Wellenlänge.	Verhältniss der W.
Roth	2425	Grünblau	1818	1,334
Orange	2244	Blau	1809	1,240
Goldgelb	2162	Blau	1793	1,206
Goldgelb	2120	Blau	1781	1,190
Gelb	2095	Indigblau	1716	1,221
Gelb	2085	Indigblau	1706	1,222
Grüngelb	2082	Violet	von 1600 ab.	1,301

Im Violet mussten, seiner Lichtschwäche wegen, die äussersten Stralen von der Wellenlänge 1600 ab alle zusammengefasst werden. Für Grün, welches in der Tabelle nicht vorkommt, ist die Complementärfarbe in den ultravioleten Stralen zu suchen.

Das Verhältniss der Wellenlängen complementärer Componenten schwankt

*) Pogg. XCIV. 1.

**) Pogg. 1853. Nr. 5.

zwischen dem der Quarte und der kleinen Terz; am kleinsten ist es für Goldgelb und Blau. — Merkwürdig ist die Vertheilung der complementären Farben im Spectrum. Während das Goldgelb ziemlich weit vom äussersten Roth absteht, liegen ihre complementären Farben Grünlichblau und Cyanblau dicht neben einander; während das äusserste Violet und das Indigo einen breiten Raum im Spectrum einnehmen, finden sich ihre Complemente grünliches Gelb und reines Gelb nur in ganz schmalen Streifen; diess hängt mit den unter 15) bemerkten Verhältnissen zusammen.

Zwei complementäre Farben gehen im Allgemeinen nicht in gleicher Lichtstärke in Weiss ein. Um das Verhältniss auszumitteln, mass Helmholtz, nachdem das Weiss in möglichster Vollkommenheit hergestellt war, die Breite des Spaltes, durch welchen die hellere Farbe drang, verringerte diese Breite dann so weit, bis ein vor das Feld gehaltenes Stäbchen zwei gleich dunkle farbige Schatten entwarf und mass die Breite dann aufs Neue. Die beiden Breiten gaben annähernd das Verhältniss der Helligkeit beider Componenten im Weiss. Die Resultate fielen übrigens, wie diess nach den S. 176 angeführten Thatsachen über das abgeänderte Helligkeitsverhältniss von Pigmenten bei verschieden starker Beleuchtung zu erwarten war, bei ungleicher absoluter Lichtstärke verschieden aus. Bei geringerer Lichtstärke treten die brechbareren Farben relativ ins Uebergewicht. Die folgenden Zahlen haben daher nur die Bedeutung approximativer Mittelwerthe.

	bei starkem Lichte.	bei schwachem Lichte.
Violet : Grüngelb	1 : 10	1 : 5
Indigo : Gelb	1 : 4	1 : 3
Cyanblau : Orange	1 : 1	1 : 1
Grünblau : Roth	1 : 0,44	1 : 0,44.

Bezüglich des aus den einfachen Complementärfarben Roth und Grünblau zusammengesetzten Weiss bemerkt Helmholtz, das Auge sei sehr empfindlich für Beimischungen von sehr kleinen Mengen der einfachen Farbe zu dem Weiss. Wenn man das aus beiden gemischte Weiss nicht ziemlich lichtschwach macht, behält es immer ein fleckiges und veränderliches Ansehen. »Dann veränderte sich auch die Mischfarbe etwas mit dem Orte der Netzhaut, der ihr Bild empfieng. Schon Purkinje hat darauf aufmerksam gemacht, dass die Seitentheile der Netzhaut eine andere Empfindlichkeit für Farben haben, als die Stelle des directen Sehens der gelbe Fleck. Hatte ich — sagt Helmholtz — Roth und Grünblau so verbunden, dass das von ihnen gemeinschaftlich beleuchtete Feld so gut als möglich weiss erschien, und eher das Roth überwog, so wurde es sogleich entschieden grün, wenn ich einen neben dem hellen Felde liegenden Punct des Papieres fixirte. Dasselbe war der Fall, wenn ich das Auge so nahe heranbrachte, dass das Feld der Mischfarbe einen sehr grossen Theil des Gesichtsfeldes bedeckte, also ausser dem gelben Flecke auch viele andere Theile der Netzhaut das Bild aufnahmen. Bei diesem Versuche kann die Farbenzerstreuung bei der Brechung im Auge in der Mitte eines so grossen Feldes keinen Einfluss haben.«

19) Der charakteristische Eindruck der Farben verschwindet

immer mehr und nähert sich dem Weiss, wenn man die von der Amplitude der Schwingungen abhängige Stärke derselben vermehrt, oder sie einer anhaltenden Betrachtung unterwirft, umgekehrt kann Weiss durch anhaltende Betrachtung farbig werden, wogegen der Eindruck der Tonhöhen nichts Entsprechendes zeigt.

Auf den Einfluss der Stärke bezügliche Erfahrungen an Farben machte ich bei meinen Versuchen über die Nachbilder*).

»Lässt man das (in ein finsteres Zimmer durch ein Loch im Laden eingelassene) Sonnenlicht durch ein farbiges Glas auf die gegenüberstehende Wand eines finsteren Zimmers fallen, so zeigt es sich bekanntlich deutlich von der Farbe des Glases. Nicht so, wenn man direct durch ein farbiges Glas in die Sonne blickt. Welches Glas man auch anwenden mag, so erscheint doch das Sonnenbild nur wenig gefärbt, fast weiss oder gelb und höchstens in schwachem Grade nuancirt es sich durch die Farbe des Glases. Mit solchem, zwar intensiven, aber nur schwach farbigen Lichte erscheint dann auch in der Regel die erste Phase des Nachbildes, obschon sie anderen Male auch gleich anfangs deutlicher die Farbe des Glases an sich trägt.«

Entsprechende Erfahrungen an Spectrumfarben, die durch ein Prisma erzeugt sind, hat Helmholtz in seiner Abhandlung gegen Brewster**) bekannt gemacht und dabei manche nähere Bestimmungen gegeben. Er erklärt es für Thatsache, dass bei blendender Helligkeit alle Farben weiss zu werden oder sich dem zu nähern scheinen, was am leichtesten mit Violet, am schwersten mit Roth gelingt. Violet geht schon bei einem sehr erträglichen Grade von Helligkeit durch ein bläuliches Grauweiss in Weiss, Blau bei einem etwas höheren durch Blauweiss in Weiss über. Ebenso nähert sich Grau bei wachsender Helligkeit durch Grüngelb, und Gelb durch Gelbweiss einem blendenden Weiss. Roth wird bei seinem höchsten Glanze nur hellgelb. Man sieht diese Aenderungen eben so an reinen, isolirten Farben des Sonnenspectrum, wie an den zusammengesetzteren der farbigen Gläser. Vergleiche auch hiezu die S. 269 mitgetheilten Angaben desselben in Pogg. XCIV. 13.

Dass Farben durch anhaltende Betrachtung unscheinbarer werden, mithin der Farbeneindruck derselben mehr und mehr erlischt, ist bekannt. Besonders interessant und instructiv in dieser Hinsicht ist folgende Versuchsform, welche Moser (Pogg. LVI. 194) nach Brewster***) dafür anführt.

»Am entschiedensten dafür spricht ein interessantes Experiment, welches man Brewster verdankt, und welches sich leicht genug bestätigen lässt. Man betrachte das Spectrum einer Lichtflamme durch das Prisma anhaltend, so verschwindet zuerst das Roth und Grün und etwas vom Blau, sieht man immer weiter, ohne das Auge zu verrücken, dann verschwindet

---

*) Pogg. L. 465.

**) Pogg. Ann. LXXXVI. 501 ff.

***) Die Originalangaben von Brewster sind mir nicht bekannt.

sogar das Gelb, geht in Weiss über, so dass man statt der prismatischen Farben nur ein gleichmässig weisses, längliches Bild der Flamme erblickt. Wie gesagt, dieser merkwürdige Versuch gelingt ohne alle Schwierigkeit, und, wie ich beobachtet habe, am schnellsten, wenn man das obere Augenlid mit der Hand fixirt und am Herunterschlagen hindert. Hat man das weisse Bild nach etwa ½ Minute erreicht und lässt man das Augenlid fallen, indem man das Auge sogleich wieder öffnet, so erscheint für einen Moment das Spectrum mit seinen Farben, um dann rasch wieder dem weissen Lichte Platz zu machen.«

Moser stellt diesen Versuch damit zusammen, dass auch bei den sonst von einander abweichenden daguerreotypischen Wirkungen der verschiedenen Farbenstralen »eine gleichmässige Wirkung aller Farben, das Gelb und Grün mit eingeschlossen, auf das Silberjodid sicher in einem Falle stattfindet, wenn sie nämlich anhaltend wirken, indem sie dann das Jodid dahin bringen, die Quecksilberdämpfe zu condensiren und es bei weiter fortgesetzter Einwirkung schwärzen.«

Das allmälige Verblassen der Farben bei anhaltender Betrachtung ist um so merkwürdiger, als umgekehrt Weiss durch anhaltende Betrachtung farbig wird.

In dieser Beziehung erinnere ich hier an folgende, von mir selbst gemachte Beobachtungen*).

»Der dunkle Schleier, mit dem sich ein auf schwarzem Grunde angeschautes weisses Papier allmälig überzieht, ist nicht rein grau, sondern klingt durch verschiedene Farben ab. Besonders deutlich stellt sich das Phänomen dar, wenn man den Versuch in directem Sonnenlichte vornimmt. Richte ich, nachdem ich die Augen eine Zeit lang geschlossen gehalten, um die Nachwirkung früherer Eindrücke zu beseitigen, dieselben auf das weisse, im Sonnenscheine auf schwarzem Papiere liegende Feld, so kann ich in den ersten Momenten, vermöge einer Art Blendung, überhaupt kein sicheres Urtheil über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Färbung fällen; doch scheint sich mir in der That eine solche erst nach einiger Zeit zu entwickeln. Bald nämlich färbt sich das Papier entschieden gelb, dann blaugrau oder blau, ohne dass ich, bei oftmaligen Versuchen, eine Uebergangsstufe durch Grün hätte wahrnehmen können, endlich rothviolet oder roth. Die gelbe Phase ist die kürzeste; die blaue dauert oft ziemlich lange, ehe sie in die folgende übergeht. Nach der rothen oder rothvioleten habe ich keine weitere wahrnehmen können; obschon ich den Versuch bis zu grosser Anstrengung des Auges fortgesetzt habe. Auch im verbreiteten Tageslichte habe ich die angegebene Succession der Färbungen oft wahrgenommen, obschon einmal mit grösserer Entschiedenheit, als das andere Mal; die beiden letzten Färbungen erkannte ich hier in der Regel leichter, als die erste gelbe. Die rothviolete oder rothe Tinte der letzten Phase sieht man häufig, besonders im verbreiteten Tageslichte, mit Grün melirt, und bei näherer Betrachtung findet sich, dass diess die schattigen Stellen des Papieres sind, welche von den kleinen Unebenheiten desselben abhängen.«

*) Pogg. L. 206.

Szokalski*) hat eine entsprechende Beobachtung gemacht, indem er sagt: »Wir legen ein viereckiges Stück weisses Papier auf einen schwarzen Grund, erleuchten das Ganze durch ein weisses Licht und richten unsere Blicke aufmerksam auf das Viereck, indem wir eine solche Stellung einnehmen, dass das Licht nicht direct unsere Augen trifft. Wenn wir auf diese Weise das Papier einige Secunden unverwandten Blickes betrachtet haben, wird es eine gelbe Farbe, und wenn wir den Versuch weiter fortsetzen, nach und nach eine grünliche, hierauf eine blaue Farbe annehmen und zuletzt ganz aufhören, sichtbar zu sein.«

Diese unabhängig von der meinigen gewonnene Erfahrung scheint mir in Betreff ihrer wesentlichen Uebereinstimmung im Farbenwandel mit der meinigen um so beachtenswerther, als sich dieselbe Uebereinstimmung zwischen Szokalski und mir nicht in der Weise, wie das Nachbild von Weiss abklingt, findet, worüber ich hier in kein weiteres Detail eingehe. Doch führt er eine Zwischenstufe von Grün auf, die ich nicht bemerken konnte, und die Erscheinung ist bei ihm nicht bis zur letzten, der rothen, Phase gediehen.

20) Der Eindruck der Farben lässt im Auge den Eindruck der Complementärfarben nach und führt solchen in der Nachbarschaft mit; wovon sich nichts Entsprechendes im Gebiete der Töne findet.

21) Farben, die auf correspondirende Stellen beider Netzhäute treffen, vermögen unter geeigneten Massnahmen den Eindruck derselben Mischfarbe zu geben (Complementärfarben z. B. sich zu Weiss zusammenzusetzen), als wenn sie auf einer identischen Stelle zusammentreffen, wogegen Töne, die gesondert in beide Ohren eintreten (nach Dove's Erfahrungen**) nicht vermögen, denselben Combinationston zu geben, welcher entsteht, wenn sie vor demselben Ohre erzeugt werden.

»Von zwei, eine reine Quinte gebenden, Stimmgabeln wurde die eine vor das rechte Ohr gehalten, die andere vor das linke. Der als tiefere Octave aus der Combination beider Schwingungssysteme entstehende Tartini'sche Ton wurde nicht gehört, aber sehr deutlich, wenn beide Gabeln vor demselben Ohre standen.«

Man hat bestritten, dass sich Complementärfarben auf correspondirenden Netzhautstellen zum Eindrucke von Weiss combiniren können, und in der That überwiegt leicht abwechselnd bald der Eindruck der einen, bald der anderen der componirenden Farben, was die Erscheinungen des sog. Wettstreites giebt. Inzwischen ist die Combinirbarkeit zu Weiss namentlich

*) Ueber die Empfindungen der Farben. S. 11.
**) Pogg. CVII. 653.

durch die Erfahrungen von Dove*), Foucauld und Regnault**) und meine eigenen unter geeigneten Massnahmen ausser Zweifel gesetzt, und eben so vermögen sich andere als Complementärfarben auf correspondirenden Stellen zur reinen Mischfarbe zu verbinden, wenn man den Wettstreit auszuschliessen vermag oder sich derselbe beruhigt hat.***)

22) Wir sind nicht eben so im Stande, willkührlich ein Doppelthören als ein Doppeltsehen zu erzeugen.

23) Wenn der Schall in ein Ohr allein oder stärker als in das andere dringt, so vermögen wir sehr wohl zu unterscheiden, welches beider Ohren das allein oder vorzugsweise afficirte ist; hingegen vermögen wir nicht zu unterscheiden, von welchem beider Augen ein Object gesehen wird.

Eine Zusammenstellung der hieher gehörigen Thatsachen und Verhältnisse habe ich in meiner Abhandlung »Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens« in der Abhandl. der sächs. Soc. math.-phys. Cl. Bd. V. S. 545 ff. gegeben.

c) Annahmen, welche nöthig scheinen, die vorigen Puncte der Uebereinstimmung und Verschiedenheit zu erklären.

Es ist die Aufgabe gestellt worden, das psychisch Uebereinstimmende und Verschiedene der Licht- und Schallempfindung mit dem physisch Uebereinstimmenden in Beziehung zu setzen, und die Psychophysik kann sich dieser Aufgabe nicht entziehen. Aber nur die äusseren physischen Verhältnisse sind unserer Beobachtung unmittelbar zugänglich und konnten demnach auch nur im Vorigen berücksichtigt werden; eine genügende psychophysische Theorie aber wird schliesslich auf die inneren Verhältnisse zurückzugehen haben, und das Princip dieses Rückganges wird nur das sein können, dass wir von einer Seite her nach den äusseren physischen Verhältnissen, von denen die inneren abhängen, von anderer Seite her nach den Empfindungsverhältnissen, die von den inneren physischen Verhältnissen abhängen, auf diese selbst schliessen; und was von einer Seite her unbe-

*) Berl. Monatsber. 1841. S. 251 oder Pogg. LXXI. 111.

**) L'Instit. XVII. 1849. p. 4.

***) Vgl. Völckers in Müller's Arch. 1838. S. 64; Prevost in Pogg. LXII. 1844. S. 566; A. Seebeck in Pogg. LXVIII. 1846. S. 455; Brücke in Pogg. XC. 1853. S. 606; Dove in Pogg. CI, S. 147.

kannt und unsicher bleibt, von der anderen Seite her zu ergänzen suchen.

So lange diese Ergänzung noch Lücken oder Zweifel lässt, bleibt das, was wir so erschliessen, nur Hypothese, und wir stehen in dieser Hinsicht hier überall noch mehr oder weniger auf dem Standpunkt der Hypothese; es kann aber doch nützlich sein, vor Erlangung der Gewissheit das Wahrscheinlichste aufzusuchen, indem der Weg zur Gewissheit in diesem Gebiete überall nur durch die Prüfung des Wahrscheinlichsten gehen kann, und eine scharfe Gränze zwischen wahrscheinlichster Hypothese und Gewissheit hier überall nicht zu ziehen sein wird. Diesen Weg, das Wahre zu finden, verwerfen, heisst darauf verzichten, es hier zu finden.

Auch ist es nicht das psychophysische Interesse allein, was zu gewissen Voraussetzungen über die Natur der psychophysischen Thätigkeiten hindrängt, welche unseren Empfindungen unterliegen, sondern hiemit zugleich ein physikalisches und physiologisches; und selbst die exactesten Forscher haben sich, wie man aus unten folgenden Anführungen ersehen kann, veranlasst gefunden, die Beobachtung in diesem Gebiete durch nothwendig erscheinende Hypothesen zu ergänzen.

Aus diesem Gesichtspuncte stelle ich nun auch im Folgenden einige, theils schon früher von Anderen als nothwendig erachtete, theils durch die eigene Untersuchung der Sachverhältnisse mir nothwendig erscheinende Hypothesen zum Zwecke der weiteren Prüfung auf. Die Zahl derselben, es sind deren fünf, darf nicht erschrecken, denn die vier letzten sind blos nähere Bestimmungen der ersten, der Grundhypothese, welche durch einen Nexus von Thatsachen zusammengehalten werden, so dass sie sich nicht sowohl aufeinander, als gemeinsam auf diesen Nexus stützen. Keine ist noch so sicher, dass sie Anerkennung erzwingen könnte; doch ist auch keine leichthin nach einer einzelnen Betrachtung aufgestellt.

Die erste, die fundamentale, Hypothese ist die, dass die Thätigkeiten in unserem Nervensysteme, welche durch den Licht- und Schallreiz ausgelöst werden, und von welchen die Licht- und Schallempfindung functionell abhängt, nicht minder als der Reiz selbst auch unter der Form von Schwingungsbewegungen zu denken sind.

Zur Rechtfertigung dieser Hypothese ist zuvörderst darauf hinzuweisen, dass eine Vorstellung über die Natur der Bewegungen, an welche sich unsere Empfindungen knüpfen, als Unterlage aller weiteren Untersuchung nöthig ist, so dass es sich nur darum handeln kann, die aufzustellen, welche den Thatsachen und dem Bedürfniss der Erklärung am besten entspricht. Nun sind der Licht- und Schallreiz oscillirend, und da weder ein theoretischer noch Erfahrungsgrund vorliegt, Zwischenmittel der Uebertragung anzunehmen, wodurch auch wohl eine schwingende Bewegung in eine progressive umgesetzt werden kann, so wird schon von dieser Seite die oscillirende Natur der, unserer Licht- und Schallempfindung unterliegenden, Bewegungen wahrscheinlich. Selbst wenn man die durch Licht- und Schallreiz erweckten Veränderungen als chemische fassen will, wie sie wohl sein könnten, oder womit sie wenigstens verbunden sein könnten, werden diese in letzter Instanz auf Veränderungen in den Molecularverhältnissen zu reduciren sein, welche, sofern sie durch Schwingungen angeregt und unterhalten werden, kaum anders als selbst unter Form von Schwingungsbewegungen gedacht werden können; wobei es für die meisten Fragen vorerst dahin gestellt bleiben kann, in wiefern diese vielmehr auf die wägbaren oder unwägbaren Theile des Nerven zu beziehen sind. Unstreitig können nach den Kraftbeziehungen zwischen den wägbaren und unwägbaren Theilchen beider Bewegungen überhaupt nur in einem gewissen Zusammenhange erfolgen, wobei sich doch unter Umständen die wägbaren Theilchen als relativ feste Centra gegen die unwägbaren verhalten könnten.

Was von einer Seite her als wahrscheinlich erscheint, erscheint von der anderen Seite her als nothwendig, sofern es überhaupt nicht möglich sein würde, mit Verhältnissen einer progressiven Bewegung die Verhältnisse der Empfindungen in functionelle Beziehung zu setzen, wohl aber mit Verhältnissen einer oscillirenden Bewegung, wie das 32. Kapitel gezeigt hat. Uebrigens ist die Hypothese mit Fleiss von vorn herein so allgemein gehalten, um auch den Bedürfnissen dessen, was es im Besonderen zu repräsentiren gilt und die Thatsachen im Besonderen fodern, noch die verschiedensten näheren Bestimmungen zuzulassen.

Auch haben die gründlichsten Forscher, soweit sie überhaupt auf die Natur der, durch den Licht- und Schallreiz in un-

seren Nerven auszulösenden Bewegungen Bezug genommen, was bei physikalischen und physiologischen Fragen mitunter nicht umgangen werden kann, sich stets zu derselben Hypothese bekannt, und sind zum Theil schon auf nähere Bestimmungen derselben eingegangen.

Besonders bemerkenswerth ist, dass selbst Newton, ungeachtet er die ganze objective Lichtlehre nach dem Emissionssysteme darstellte, sich veranlasst fand, an Schwingungen in den Nerven als Unterlage der Lichtempfindung zu denken, wobei er nur den Ausdruck Frage (Quaestio) für unseren Ausdruck Hypothese braucht; indem er (Optica, lib. III) sagt:

»Quaestio. 12. Annon radii luminis, incidendo in fundum oculi, excitant vibrationes quasdam in tunica retina, quae quidem vibrationes, propagatae inde per solidas nervorum opticorum fibras in cerebrum usque, sensum ibi videndi excitent? Nam, quandoquidem corpora densa conservant calorem suum diutius, et ut quodque corpus densissimum est, ita calorem suum diutissime conservat; utique vibrationes partium suarum natura sunt durabili, adeoque propagari possunt in longinqua usque spatia per solidas materiae uniformis ac densae fibras, ad transmittendos in cerebrum videlicet motus sensuum omnium organis impressos . . . . .

Quaestio 13. Annon radii diversorum generum vibrationes excitant diversa magnitudine; quae scilicet vibrationes, pro sua cujusque magnitudine, sensus diversorum excitent colorum; simili fere ratione, ac vibrationes aëris, pro sua itidem ipsarum diversa magnitudine, sensus sonorum excitant diversorum? Et nominatim, annon radii maxime refrangibiles, vibrationes excitant brevissimas, ad sensum movendum coloris violacei saturi; radii minime refrangibiles, vibrationes longissimas, ad sensum coloris rubri saturi; et radii generum omnium intermediorum, vibrationes comparate intermedias, ad sensum colorum diversorum intermediorum excitandum?

Quaestio 14. Annon fieri potest, ut harmonia et discordia colorum oriatur e proportionibus vibrationum propagatarum per nervorum opticorum fibras in cerebrum; similiter ac harmonia et discordia sonorum oritur e proportionibus vibrationum aëris? Sunt enim alii colores, si juxta se invicem positi simul inspiciuntur, oculis grati, ut auri et indici, alii autem minus grati.«

Grailich, in s. Abhandl. über d. Theorie der gemischten Farben XIII. sagt:

p. 247. »Jede der einzelnen Bewegungen (des Aethers) trifft endlich ein Nervenelement, dem wir mit demselben Rechte transversale Schwingungen zuschreiben dürfen, wie dem Aetherpuncte selbst; es wäre in der That schwer einzusehen, warum in dem Seh-Apparate die übertragenen Bewegungen anderer Art sein sollten, als in dem die Bewegung bis dahin vermittelnden Medium etc.« Und p. 259: »Die Entscheidung konnte aus dem Calcul nicht gezogen werden, und ich musste auf den Act des Sehens zurückgehen. Es scheint aber, dass, sobald man annimmt, die Bewegung des

Aethers theile sich den Nervenelementen mit und versetze diese in eine ähnliche schwingende Bewegung, es auch mit Nothwendigkeit folge u. s. w.«

Die Aufstellung und Gestaltung der Hypothese durch W. Herschel, Melloni und A. Seebeck ist schon S. 262 ff. mitgetheilt worden.

Von vorn herein könnte man freilich bezweifeln, dass sich mit dieser Hypothese der Bedingung, die Verhältnisse der Empfindung physisch zu repräsentiren, überhaupt genügen lassen wird, falls man die Aufgabe in der Allgemeinheit fasst, die ihr der Natur der Sache nach zukommt. Denn man scheint von vornherein verzweifeln zu müssen, mit den Verhältnissen der Uebereinstimmung zwischen den Empfindungsgebieten von Licht und Schall auch die der Verschiedenheit repräsentiren zu können, welche wir besprochen haben. Was steht uns bei Schwingungen überhaupt zu Gebote, wovon sich Verschiedenheiten der Empfindung functionell abhängig machen liessen, als Verschiedenheiten in der Natur des schwingenden Mediums, Verschiedenheiten in der Schwingungsamplitude, Schwingungsdauer und Schwingungsform; aber können auch hievon so fundamentale Unterschiede abhängig gemacht werden, als zwischen Gesichts- und Gehörsempfindung bestehen? Wenn Aether- und Lichtschwingungen ganz verschiedenen Medien angehören, und wenn schon denkbar wäre, dass jene sich nur dem Unwägbaren, diese dem Wägbaren im Nerv mittheilen, so würde es doch misslich sein, Verschiedenheiten der Materie eine derartige Qualitas occulta beizulegen, dass Verschiedenheiten der Empfindung daran hängen könnten, sofern nicht verschiedene Bewegungsweisen daran hängen. Wenn die Amplitude und Schwingungsdauer der Lichtschwingungen ungeheuer viel kleiner als die der Luftschwingungen ist, und nicht unwahrscheinlich etwas Entsprechendes bei den dadurch in den Nerven angeregten Schwingungen stattfindet, fruchtet diess doch nichts, den Grund-Unterschied in der Qualität beider Empfindungen zu erklären. Denn durch Verkleinerung der Amplitude und Schwingungsdauer bei Tönen, Farben ändert sich immer nur die Stärke und Höhe der Tonempfindung, Helligkeit und Qualität der Farbenempfindung, aber es bleibt Tonempfindung, Farbenempfindung, und zeigt sich nicht die mindeste Tendenz zum Uebergange zwischen beiden. Was endlich die Form anlangt, so können Lichtschwingungen äusserlich geradlinig, circulär, elliptisch sein, es bleiben Lichtschwingungen. Eben so können Schallschwingungen äus-

serlich geradlinig, kreisförmig, elliptisch sein, es bleiben Schallschwingungen, und haben wir auch kein Recht, eine unveränderte Uebertragung der äusseren Schwingungsform ins Innere anzunehmen, so scheint doch von anderer Seite auch weder ein Grund vorzuliegen, gewisse Schwingungsformen auf gewisse Nerven zu beschränken, noch ein Princip, qualitative Empfindungsverschiedenheiten an Formverschiedenheiten der Schwingungen zu knüpfen.

Und hiemit scheinen alle Wege verschlossen, mittelst unserer Hypothese die gestellte Aufgabe in der Allgemeinheit, in der sie zu stellen ist, zu erfüllen.

Ich gestehe, dass die Schwierigkeit in dieser Hinsicht mir lange als eine fast unlösliche vorgeschwebt hat, so dass ich an deren mögliche Lösung vielmehr glaubte, weil ich an die Möglichkeit einer allgemeinen Fassung der Psychophysik glaubte, als dass ich irgend einen Weg dazu hätte zu erkennen vermocht. Auch dürfte ein solcher nicht leicht durch Betrachtungen von allgemeiner Natur zu finden sein. Indem ich aber auf die besonderen Verhältnisse der beiderlei Empfindungen und die Umstände, unter denen sie entstehen, eingehe, scheint mir, dass man dadurch mit einer gewissen Nothwendigkeit zu Vorstellungen von einer so fundamentalen Verschiedenheit zwischen den Verhältnissen der ihnen gemeinsam unterliegenden Schwingungsbewegungen geführt wird, dass jene Schwierigkeit, wenn auch nicht vollständig gehoben, doch soweit vermindert erscheint, dass ihre vollständige Hebung als möglich gelten kann, Vorstellungen, die bei einer blos allgemeinen Betrachtung der Möglichkeiten sich nicht nur nicht begründen liessen, sondern nicht einmal darbieten konnten. Solche Vorstellungsweisen treten im Folgenden als nähere Bestimmungen der vorigen Hypothese auf.

Die zweite Hypothese, die ich demgemäss, und zwar wiederum nicht als der erste, aufstelle, ist die, dass, während factisch alle Farbenstralen des Sprectrum durch jede Opticusfaser percipirt werden können, die Töne verschiedener Höhe innerlich durch verschiedene Fasern des Hörnerven anklingen, so dass jede als eine Saite mit nur Einem Tone, oder vielmehr für einen so kleinen Spielraum von Tönen, dass sie vom Gehöre nicht unterschieden werden können, gelten kann.

Für den ersten Anblick zwar mag nichts unwahrscheinlicher erscheinen, als diese Hypothese, da man keinen Grund hat, den

verschiedenen Hörnervenfasern eine verschiedene Spannung wie verschiedenen Saiten beizulegen, noch etwas vorzuliegen scheint, was Schwingungen jeder Tonhöhe den Zugang zu allen Acusticusfasern verwehrte. Die neuesten anatomischen Untersuchungen über das Gehörwerkzeug haben inzwischen gelehrt, dass mit den besonderen Hörnervenfasern besondere elastische Gebilde (die sog. Corti'schen Fasern in der Schnecke, eigenthümliche Borsten im Vorhofe) in Verbindung gesetzt sind, welche geeignet scheinen, nach ihren verschiedenen Dimensionen und Elasticitätsverhältnissen Schwingungen verschiedener Schnelligkeit aufzunehmen und diese den Hörnervenendigungen mitzutheilen, worüber man einige Notizen in folgender Einschaltung nachlesen kann. Ist nun auch eine derartige Deutung dieser Gebilde bis jetzt vielmehr erst eine mögliche als sichergestellte, so ist es doch von grosser Wichtigkeit, diese Möglichkeit anatomischerseits begründet zu sehen, nachdem die folgends zu erörternden anderweiteren Gründe mit einer gewissen Nothwendigkeit eben dahin zu weisen scheinen.

Eine Abhandlung des um die Anatomie dieses Gegenstandes hochverdienten M. Schultze (über die Endigungsweise der Hörnerven im Labyrinth in Müller's Arch. 1858. p. 343), schliesst p. 380 so:

»Die Corti'schen Fasern mit den von mir hinzugefügten accessorischen Gebilden gleicher Natur können als ein Stützapparat für die eingewebten und aufgelagerten zelligen Gebilde und zuleitenden Nervenfasern betrachtet werden. Aber nicht blos als einen Stützapparat möchte ich die Corti'schen Fasern betrachtet wissen; es dürfte denselben eine höhere Bedeutung zuzuschreiben sein. Offenbar begünstigt die eigenthümlich gebogene Lage dieser Fasern, ihre Befestigung auf der membrana basilaris mit einem Ende, ihre Steifigkeit und Elasticität, welche sie nach Allem, was man sehen kann, besitzen, das Zustandekommen von Schwingungen derselben, welche die Perception der Schallwellen begünstigen können, wenn die percipirenden Elemente in möglichst nahe Verbindung mit denselben gebracht werden. Die eigenthümliche Lage gewisser Nervenzellen in den Winkeln gabelförmig sich theilender Stäbchen, oder eingeklemmt zwischen lamina spiralis und gebogener Faser dürfte eine solche Annahme noch mehr rechtfertigen, welche zunächst freilich noch, so lange die anatomischen Verhältnisse nicht genauer erforscht sind, ganz in das Gebiet der Hypothese gehört. Wo aber weder das Experiment heranreicht, noch auch, wie hier vorauszusetzen, Erfahrungen über pathologische Verhältnisse bald eine Erklärung geben dürften, mag eine solche, wenn sie das betreffende Gebilde aus dem Zustande des reinen Curiosen heraus hebt, am Platze sein.«

Es ist unmöglich, ohne ausführliche Beschreibung und Hülfe von Abbildungen oder schematischen Figuren eine zulängliche Vorstellung von der complicirten Einrichtung zu geben, welche der mit den Schneckennervenen-

digungen in Beziehung gesetzte Corti'sche Apparat in der lamina spiralis hat, und überall schwer, sich genau darin zu orientiren. Eine durch Figuren erläuterte Uebersicht der Resultate der bisherigen anatomischen Untersuchungen, mit Ausnahme der neuesten Arbeit von Deiters, gewährt Funke's Lehrb. der Physiologie. 3. Aufl. 1860. Bd. II. S. 90 ff. Die vollständigste Untersuchung aber hat (nach einer schon früheren Abhandlung in Siebold und Kölliker's Zeitschrift) Deiters in der kleinen Schrift, »Untersuchungen über die lamina spiralis membranacea. Bonn. 1860« geliefert.

Sehr instructiv und erleichternd für das Verständniss dieser Schriften war mir ein von Rüte auf Grund der Deiters'schen Schrift im Grossen ausgeführtes Modell eines Stückes der lamina spiralis mit dem Corti'schen Organe in Holz und Papier. Man erstaunt über die Menge der Particularitäten, die sich hier dem Blicke auf einmal darbieten, und findet sich überzeugt, dass diese nicht umsonst da sein können.

Um nach Anleitung der Deiters'schen Schrift wenigstens die Puncte der Einrichtung, welche die wesentlichsten zu sein scheinen, zu bezeichnen, so besteht die lamina spiralis bekanntlich aus einem knöchernen inneren, an den modiolus der Schnecke, und einem häutigen äusseren, an die Schneckenwand sich ansetzenden, Theile. Dieser häutige Theil ist aber wesentlich doppelt, d. h. schliesst zwischen zwei Platten, einer untern, oder der Grundmembran, *membrana basilaris*, die eine unmittelbare Fortsetzung des Periosts der Scala vestibuli ist, und einer obern, der Deckmembran oder Corti'schen Membran, einen gegen das Labyrinthwasser abgeschlossenen Hohlraum ein, der jetzt als eine dritte Skala, Scala media, zwischen der Scala tympani und Scala vestibuli betrachtet wird. In dieser Scala media liegt der complicirte Apparat, womit die Enden der Schneckennervenfasern in Verbindung stehen, und wovon der wichtigste Theil das sog. Corti'sche Organ ist.

Um sich das Corti'sche Organ schematisch vorzustellen, denke man sich eine Art Gewölbebogen oder Dach auf die Membrana basilaris aufgesetzt, gebildet dadurch, dass zwei von der M. basilaris an in schiefer Richtung gegen einander aufsteigende Bogentheile oder Schenkel oberhalb der M. basilaris zusammenstossen, am Puncte des Zusammentreffens aber nicht sowohl verwachsen, als durch ein Gelenk, eine Art ginglymus (Deiters S. 39) mittelst besonderer Verbindungstheile, welche die Decke des Bogens bilden, beweglich vereinigt sind. Diese Schenkel werden die Corti'schen Fasern genannt, und zwar der mehr nach dem modiolus der Schnecke zu auf der M. basilaris aufstehende daselbst festgeheftete als innere oder aufsteigende Faser oder Faser 1. Reihe, der mehr nach der Schneckenwand zu sich an die M. basilaris anheftende, als äussere oder absteigende Faser, Faser 2. Reihe unterschieden. Der ganze Bogen wird durch Anheftungen und Stützmittel in seiner Lage erhalten. Solcher Bogen sind unzählige neben einander längs der ganzen lamina spiralis gereiht. Wie es scheint (Deiters S. 30), sind sie in der scala media von Flüssigkeit umgeben, und diese nicht (wie Claudius angegeben) ganz mit Zellenparenchym er-

füllt, sondern solches nur an einigen Stellen der Scala media vorhanden, so dass das Corti'sche Organ davon frei bleibt.

Nach Deiters (S. 27. 29) ist die innere Faser wesentlich ein homogenes, solides, plattes, viel weniger dickes als breites Gebilde, starrer, weniger biegsam, spröder, elastischer als die äussere Faser. Die Festigkeit der Substanz der inneren Faser nimmt von ihrem Ansatze nach Oben allmälig zu. »In ihrer normalen gebogenen Lage wird sie in einer gewissen Spannung erhalten, welche sie der geraden Richtung zuzuführen strebt.« Die äussere Faser ist hingegen nach Deiters ein rundliches, röhrenförmiges Gebilde, an dem eine Hülle und ein consistenter Inhalt neben einander zu unterscheiden sind; die Festigkeit der äusseren Faser ist überall gleich, die Elasticität geringer, die Biegsamkeit grösser als bei der äusseren Faser, ihr Ende, womit sie auf der Membrana basilaris aufsitzt (Deiters 37), »eine eigenthümliche glocken- oder trichterförmige Erweiterung, die mit ihrem lumen in der Art auf der Grundmembran aufsitzt, dass die letztere sich unmittelbar in die erstere fortsetzt.« »Die Glocke steht etwas schief unter spitzem Winkel zur Membrana basilaris« und »kann mit dem Kelche einer Blume verglichen werden.«

Es ist mir aus dieser Beschreibung nicht ganz klar, ob die Mündung der Trichter offen gegen das Labyrinthwasser oder durch die membrana basilaris verschlossen ist.

Die Nervenvertheilung im Corti'schen Organe und dessen Pertinenzien ist sehr complicirt, und in den Verhältnissen und letzten Endigungen derselben Vieles noch unklar. Hier kann nicht näher darauf eingegangen werden.

Die eigenthümlichen Borsten, mit welchen die Enden des Vorhofnerven in Beziehung stehen, haben nach der Abbildung in Funke's Lehrb. II. S. 91 f. eine verschiedene Länge und ragen frei in das Labyrinthwasser hinein. Mit dem Näheren der anatomischen Untersuchungen darüber bin ich nicht bekannt.

Eine Ausführung der Hypothese, in soweit sie möglich sein sollte, wird überhaupt zunächst den Anatomen, welche genauere Sachkenntniss von den Verhältnissen, die dabei in Betracht kommen, haben, zu überlassen sein; aber die ganze Untersuchung scheint noch nicht auf den Punct gediehen, der eine solche gestattet.

Dieselbe Hypothese ist nicht nur schon früher, selbst ehe jene anatomische Entdeckung gemacht war, mehrfach aufgestellt worden, sondern auch neuerdings hat sich Helmholtz wiederholt dafür ausgesprochen; und nicht ungern mache ich die Autorität dieses gründlichen und genialen Forschers mit für dieselbe geltend.

In dem amtl. Berichte über die 34. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Carlsruhe 1859. S. 157 (vergl. auch S. 225) ist ein Vortrag desselben »Ueber physikalische Ursache der Harmonie und Disharmonie« abgedruckt, der ich folgende Stelle entlehne:

»Im Allgemeinen ist die Luftbewegung, welche von einem musikalischen Instrumente hervorgebracht wird, mathematisch darzustellen als eine Summe

von Luftbewegungen, welche verschiedenen einfachen Tönen von n, $2n$, $3n$ etc. Schwingungen entsprechen. Diese Zusammensetzung der Luftbewegung ist allerdings nur eine mathematische Fiction, und doch finden wir auch im Ohre bei hinreichend aufmerksamer Beobachtung heraus, dass alle die den einzelnen Gliedern jener Reihe entsprechenden Töne empfunden werden, nämlich der von n Schwingungen als Grundton, die übrigen als seine höheren harmonischen Obertöne. Man kann sich in solchen Fällen, wo die Form der Schwingungsbewegungen genau bestimmt werden kann, z. B. bei angeschlagenen Saiten, überzeugen, dass das Ohr alle diejenigen Obertöne hört, deren entsprechende Glieder in dem mathematischen Ausdrucke vorhanden sind, die fehlenden auch nicht hört.«

»Diese höchst auffallende und eigenthümliche Fähigkeit des Ohres, auf der es auch beruht, dass die verschiedenen Töne eines Accordes unterschieden werden können, würde ihre Erklärung finden, wenn wir annehmen, dass die eigenthümlichen elastischen Plättchen und Härchen, welche in neuester Zeit an den Enden der Hörnervenfasern ansitzend gefunden worden sind, jedes auf einen bestimmten Ton abgestimmt sind, so dass jede Hörnervenfaser nur empfindet, wenn der entsprechende einfache Ton angegeben wird und ihr elastisches Anhängsel vibrirt.«

Anderwärts (Pogg. Ann. CVIII. 1859. S. 290) äussert er sich wie folgt: »Ich habe schon an einem anderen Orte die Hypothese ausgesprochen, dass jede Nervenfaser des Hörnerven für die Wahrnehmung einer besonderen Tonhöhe bestimmt ist, und in Bewegung kommt, wenn der Ton das Ohr trifft, welcher der Tonhöhe des mit ihr verbundenen elastischen Gebildes (Corti'schen Organs oder Borste in den Ampullen) entspricht. Danach würde sich die Empfindung verschiedener Klangfarben darauf reduciren, dass gleichzeitig mit der Faser, welche den Grundton empfindet, gewisse andere in Bewegung gesetzt werden, welche den Nebentönen entsprechen.«

Der auch von Helmholtz geltend gemachte Hauptgrund für unsere Hypothese liegt in dem verschiedenen Verhalten der Aufmerksamkeit zu den Gesichts- und Gehörseindrücken. Wenn Farben durch dieselbe Opticusfaser gemischt eindringen, vermögen wir durch keine Kraft der Aufmerksamkeit die eine vor der anderen ins Bewusstsein zu heben. Wenn hingegen Töne durch dasselbe Ohr eindringen, vermögen wir sie bis zu gewissen Gränzen durch Richtung der Aufmerksamkeit jetzt auf den einen, jetzt auf den anderen Ton zu trennen, und die Bestandtheile des zusammengesetzten Tones besonders aufzufassen. Sollten alle gleichzeitig vernommenen Töne eben so gemeinsam durch jede Acusticusfaser percipirt werden, so liesse sich der Unterschied der Wirkung der Aufmerksamkeit nicht erklären; was dagegen wohl der Fall ist, wenn die verschiedenen Töne durch verschie-

dene Fasern percipirt werden, da wir auch von einem Theile des Gesichtsfeldes unsere Aufmerksamkeit beliebig abziehen können.

Ein sehr einfacher und schlagender Versuch kommt dieser Auffassung zu Hülfe:

Man halte vor jedes Ohr eine Taschenuhr, so wird man den Schlag beider Uhren hören, und je nachdem man die Aufmerksamkeit für das eine oder andere Ohr spannt, den Schlag und Tact jeder Uhr als einen von dem der anderen unterschiedenen auffassen können. Sollte die Aufmerksamkeit im Stande sein, das, was sie leisten kann, wo die Schläge beider Uhren durch zwei verschiedene Nerven percipirt werden, auch noch zu leisten, wenn sie durch denselben Nerven percipirt werden, so müsste man den Schlag und Tact beider Uhren mittelst demgemässer Stimmung der Aufmerksamkeit auch noch als einen besonderen auffassen können, wenn man beide Uhren vor dasselbe Ohr hält. Aber diess ist nach einem bekannten Versuche von E. H. Weber*) durchaus nicht der Fall; die Schläge beider Uhren setzen sich zu einem Geräusche zusammen, in dem man jetzt nur die gemeinsamen Perioden der Verstärkung und Schwächung wahrnimmt, welche man umgekehrt nicht wahrnimmt, wenn man beide Uhren vor die verschiedenen Ohren hält, indess man es ganz unmöglich findet, den Schlag und Tact beider Uhren noch gesondert aufzufassen. Uebrigens kann man statt des Geräusches zweier Uhren mit gleichem Erfolge irgend ein anderes Geräusch anwenden, z. B. das Geräusch, was man durch Reiben der Haare zwischen zwei Fingern respectiv vor einem und vor zwei Ohren erzeugt.

Wenn Geräusche sehr verschieden sind, so hindert nichts, sie zu unterscheiden und durch Aufmerksamkeit zu trennen, auch wenn sie in dasselbe Ohr eindringen, und täglich vernachlässigen wir, indem wir z. B. auf die Worte eines Redenden achten, und unsere Aufmerksamkeit ganz darauf richten, andere mitgehende Geräusche. Diess kann theils darauf beruhen, dass unsere Aufmerksamkeit sich dem eigenthümlichen Tacte, den viele Geräusche, wie das Mühlengeklapper, haben, in einem entsprechenden Wechsel

*) S. seine Abhandl. über Tastsinn und Gemeingefühl in Wagner's Wörterb. S. 489.

zu accommodiren vermag. Ausserdem aber hängt die Möglichkeit der Trennung so sehr an der Verschiedenheit der Geräusche, dass man wohl annehmen darf, sie finde nur nach Massgabe statt, als die verschiedenen Acusticusfasern in ungleichem Verhältnisse davon afficirt werden, so dass die Aufmerksamkeit einen besonderen Angriff darauf gewinnt. Eine Störung findet immerhin statt, wie ich mich nur eben sehr gestört fand, und schwer verstand, als jemand mit mir sprach, und zugleich die Asche aus dem Ofen gekratzt wurde.

Mit dem vorigen Grunde hängt folgender zusammen: wenn verschiedene optisch einfache Farben durch dieselbe Opticusfaser einwirken, gehen sie in einem Eindrucke unter, welcher wieder den Charakter eines solchen hat, der durch eine optisch einfache Farbe erzeugt wäre, und selbst nahe mit dem Eindrucke einer optisch einfachen Farbe von der mittleren Schwingungszahl übereinkommt; was sich daraus erklären lässt, dass die in derselben Faser sich superponirenden Schwingungen von verschiedener Schwingungsdauer nach Grailich'schem Principe mit einander interferiren. Sollten nun eben so alle Töne durch dieselbe Acusticusfaser eindringen, so liesse sich nicht erklären, warum sie nicht nach einem gleichen Principe durch Interferenz in einem Toneindrucke untergehen sollten, welcher den Charakter eines einfachen Tones trägt, und mit dem eines mittleren einfachen Tones nahe zusammenfällt. In der That aber, wenn wir verschiedene Töne zusammen anschlagen, findet nichts der Art statt; der zusammengesetzte Ton hat nicht den Charakter eines einfachen und kann nicht mit einem mittleren Tone zwischen den angeschlagenen verwechselt werden.

Allerdings ist auch bei Tönen die Entstehung neuer Töne durch Interferenz möglich, wie die Entstehung der Combinationstöne beweist; aber es lässt sich auch beweisen, dass der Combinationston schon durch die Interferenz der Luftschwingungen ausser dem Ohre entsteht, eine objective Existenz wie die Töne hat, denen er den Ursprung verdankt.*) Dringt nun mit zwei Tönen der durch ihre Interferenz in der Luft erzeugte Tartini'sche Ton zugleich ein, so wird er von seiner besonderen Acusticusfaser percipirt, und kann deshalb auch von den componirenden Tönen

---

*) Vergl. Helmholtz, Pogg. XCIX. S. 539.

unterschieden werden, was nicht möglich wäre, wenn er mit ihnen durch dieselbe Acusticusfaser zugleich percipirt würde.

Versucht man einen Tartini'schen Ton durch zwei Stimmgabeln vor zwei Ohren statt vor einem Ohre zu erzeugen, so wird er nach der S. 280 angeführten Erfahrung von Dove nicht mehr gehört, weil die Schwingungen jeder Gabel dann merklich gesondert in jedes Ohr dringen, und also der objective Tartini'sche Ton nicht entsteht, die Seele aber nach dieser Erfahrung selbst nicht die Macht hat, solchen subjectiv aus seinen Componenten zu bilden.

Hiemit zusammenhängend lässt sich weiter erklären, wie es kommt, dass man im Gebiete der Töne an einem und demselben Eindrucke drei Seiten, Stärke, Höhe, Klang unterscheiden kann, im Gebiete des Lichtes blos zwei, Stärke und Farbe. Mit dem durch eine Acusticusfaser anklingenden Hauptlone kann ein Gemisch höherer Nebentöne durch andere anklingen, und hiedurch eine Zumischung zum Hauptlone entstehen, welche als Klang gespürt wird; wogegen diess nicht der Fall ist beim Gesicht, sofern die durch dieselbe Opticusfaser eindringenden verschiedenen Farben sich immer wieder zum Resultate einer einfachen zusammensetzen, die durch andere Opticusfasern eindringenden aber räumlich discret erscheinen.

Vielleicht steht auch der eigenthümliche und durch eine sehr allgemeine Erfahrung constatirte Umstand, dass Schwerhörige in der Regel musikalische Töne viel besser vernehmen, als Geräusche, mit unserer Hypothese in Beziehung.

Betreffs der übrigens sehr bekannten Thatsache führe ich beiläufig folgende Stelle aus der rationellen Otiatrik von Ehrhard (1859) an:

p. 41. »Meine pathologischen Beobachtungen ergeben, dass der musikalische Sinn in beiderlei Weise mit der Schärfe des Gehörs in Einklang steht; ich habe denselben bei den verschiedensten Graden der Schwerhörigkeit, ja selbst 2 mal bei Taubstummen ausgeprägt gefunden; es ist oft wunderbar zu finden, dass Schwerhörige, die meine Kastenuhr gar nicht, meine Repetiruhr nur wenige Zoll hören, mit Befriedigung ein Concert besuchen, und die feinsten Nüancen einer Symphonie empfinden. Ich sah in Cöln einen Taubstummen, der in der Kirche mitsang, obschon seine Stimme natürlich klanglos war; ich lernte einen Anderen kennen, der sich Pfeifen schnitzte und ihre Reinheit probirte. Die verschiedensten pathologischen Zustände des Gehörorgans, sowohl des acustischen wie des nervösen Apparates, selbst bis zur centralen Lähmung hinauf, wie ja eben die Taubstummen beweisen, können den einmal vorhandenen musikalischen Sinn nicht tödten.«

Ein Geräusch lässt sich nämlich als Gemisch vieler Töne von verschiedener Höhe betrachten, die für sich schwach, nur in der Summe stark sind. Im Ohre zerlegt sich das Geräusch bei der Apperception in seine Componenten; und wenn diese die Schwelle nicht oder nur wenig für sich übersteigen, so wird das Geräusch nicht oder nur schwach gehört, indess ein objectiv gleich starker Ton stark gehört wird, weil er sich bei der Apperception nicht zerlegt, sondern in derselben Faser concentrirt bleibt.

Weiter trifft mit den bisherigen Gründen folgender zusammen. Die Bedeutung des Octavenintervalls für die periodische Seite der Skala der Tonempfindung lässt sich mathematisch blos für einfache Schwingungen begründen, und müsste also, wenn sich die Schwingungen für verschieden hohe Töne in derselben Acusticusfaser zusammensetzen könnten, für Accorde verloren gehen, was wider die Erfahrung ist.

Endlich scheint mir noch unserer Hypothese eine sehr schlagende Analogie zu statten zu kommen. Unser Auge ist ein dioptrischer Apparat, welcher nach gleichen Principien gebaut ist, als unsere künstlichen dioptrischen Apparate, und insbesondere ganz ähnlich, nur vollkommener, als unsere Camera obscura. Es kann also nicht unangemessen erscheinen, wenn wir auch unsere Ohren einem unserer akustischen Apparate, d. i. musikalischen Instrumente entsprechend gebaut halten, und zwar scheint es am meisten einem Klaviere vergleichbar, wo eine so grosse Menge Saiten mit zugehörigen Tasten vorhanden ist, dass alle Tonstufen, wenn schon nicht mit absoluter, aber für das praktische Bedürfniss hinreichender Genauigkeit repräsentirt sind, und jede besondere Saite durch einen besonderen Hammer angeschlagen wird, nur dass, wenn die anatomische Andeutung nicht trügt, in unserem Gehörorgane der Hammer es ist, welcher musikalisch gestimmt ist, und durch seinen Anschlag den Ton an die Saite überträgt. Beim Auge ist alle Kunst darauf verwendet, dass Lichtstralen, die von einem sichtbaren Puncte herkommen, sich nicht mit solchen mischen, die von anderen Puncten herkommen, sondern gesondert gefasst werden können. Mit aller Kunst hat sich diess nicht vollständig, aber doch sehr approximativ erreichen lassen. So meinen wir nun auch, dass eine entsprechende Kunst im Ohre verwendet ist, die Töne, die von einem tongebenden Körper herkommen, gesondert von denen percipiren zu lassen, welche von

anderen herkommen; und auch hier wird sich diess nicht vollständig, aber mit entsprechender Approximation haben erreichen lassen.

Hiemit gehen wir auf zwei Einwände über, die man der, schon früher hie und da in Anregung gekommenen, Hypothese entgegenstellen konnte und entgegengestellt hat.*)

Es lässt sich erstens bemerken, dass die Zahl der Töne selbst nur innerhalb einer Octave, geschweige innerhalb der ganzen Tonskala, die unserem Ohre zugänglich ist, unendlich ist, und dass wir wirklich alle diese unendlich verschiedenen Töne zu vernehmen vermögen, indess die Zahl der Nervenfasern des Acusticus doch nur eine endliche sein kann; zweitens, dass eine Zerlegung der durch das Labyrinthwasser in Zusammensetzung anlangenden Schallwellen in solcher Weise, dass jede einzelne Faser sich den ihr eigenen Ton herauslese, nach keinem physikalischen Principe vorstellbar sei.

Beiden Einwänden aber lässt sich im Zusammenhange begegnen.

Der erste Einwand würde Stich halten, wenn wir wirklich jeder Faser blos die Perception eines einzigen absolut bestimmten Tones zuzuschreiben hätten, und zugleich würde sich keine physikalische Vorstellung fassen lassen, wie jeder Faserr blos eine absolut einzige Schwingungsart zugeführt werden, oder sie blos für ihre Aufnahme allein empfänglich gemacht sein sollte. Aber wir haben nur nöthig anzunehmen, wie auch von Anfange an geschehen, dass jede Faser einen Spielraum von Tönen hat, der klein genug ist, dass er die Unterschiedsschwelle nicht erreicht oder übersteigt. Dann wird es nicht nur möglich, die Continuität der Tonempfindungen durch die ganze Skala der Töne mit einer endlichen Zahl von Fasern zu erhalten, sondern es lassen sich auch physikalische Wege denken, jede Faser unter Bedingungen zu versetzen, dass ihr aus einem Tongemisch nur Schwingungen innerhalb eines kleinen Spielraums zukommen, und in den angeführten Entdeckungen über die Structur des Gehörorgans Andeutungen finden, dass solche Bedingungen wirklich erfüllt sind. Zwar fodert auch diese Voraussetzung, wenn schon keine unendlich grosse, aber noch eine ungeheure Zahl Nervenfasern; aber

*) Vgl. u. a. Funke Physiol. 1. Aufl. I. S. 690. 3. Aufl. II, 141.

da diese Bedingung wirklich erfüllt ist, so spricht diess vielmehr für als gegen die Voraussetzung. Kölliker fand, wie ich einer Notiz in Funke's Physiol. 1. Aufl. (S. 683) entnehme, in der Schnecke des Ohres »eine 18''' lange Reihe von mehr als 3000 mit mathematischer Gesetzmässigkeit neben einander gelagerter Nervenenden.« Kölliker hielt die Corti'schen Fasern für Nervenenden; aber diess ändert den Gesichtspunct nicht, da denselben Nervenfasern entsprechen. Es würde ganz unmöglich sein, eine teleologisch zulängliche Vorstellung zu fassen, wozu so viele, so eigenthümlich armirte Nervenfasern dienen sollten, wenn jede Faser alle Töne gleichzeitig aufnehmen und erst die Seele solche scheiden sollte.

Dem Einwande, dass eine physikalische Vorrichtung undenkbar sei, welche die einzelnen Componenten einer resultirenden Tonmischung wieder zu trennen, und den verschiedenen Nervenelementen zuzuführen vermöge, wird eben so durch Thatsachen wie durch Theorie widersprochen.

Bekannt und zweifelfrei ist das Experiment, dass sich manche Gläser durch Hineinschreien eines gewissen Tones, aber nicht anderer Töne zersprengen lassen. Ein solches Glas wählt also zwischen den Tönen, schwingt nur mit einem gewissen Tone hinlänglich stark mit, um zersprengt zu werden. So erzittern die Fensterscheiben vorzugsweise unter dem Einflusse gewisser Töne; so bringt eine schwingende Saite vor anderen nur die gleichgestimmte zum Mitschwingen. Dabei ist überall gleichgültig, ob noch andere Töne ausser den betreffenden mitklingen.

Inzwischen eben so gewiss, als diese Auswahl ist, so gewiss ist, dass sie nicht absolut auf einen einzigen bestimmten Ton beschränkt ist. Einmal kann weder das Glas, noch die Fensterscheibe, noch die Saite absolut genau auf den Ton gestimmt sein, der sie zum Mitschwingen bringt. Ausserdem würde jene Annahme sich mit den Gesetzen der Tonmittheilung nicht vertragen.

In der gründlichen Abhandlung A. Seebeck's »Ueber Schwingungen unter der Einwirkung veränderlicher Kräfte*)«, ist der Fall allgemein behandelt, dass einem plattenförmigen Körper *N*, welcher (wie wir von den Corti'schen Fasern mindestens erster Reihe, und den Borsten an den Enden des Hörnerven voraus-

*) Pogg. Ann. LXII, 289.

setzen) einer selbständigen Schwingung von der Periode n fähig ist, oder, kurz gesagt, auf den Ton n gestimmt ist, in einem widerstehenden Medium*), durch dieses Medium Schwingungen eines selbsttönenden Körpers M**) von der Periode m zugeführt werden. Hienach gilt mathematischerseits Folgendes.***)

1) Allgemeingesprochen setzt sich die Schwingungsperiode des Körpers, welchem die Schwingungen mitgetheilt werden, zu Anfange aus seiner eignen Periode n und der Periode m des selbsttönenden Körpers M zusammen; geht aber nach einiger Zeit in letztere Periode allein über, um so schneller, je grösser der Widerstand des Medium ist, in welchem die Schwingung erfolgt.

2) Das Mittönen nach der Periode m ist um so stärker, je weniger die Periode m von der eignen Periode n des mittönenden Körpers unterschieden ist; und wenn beide Perioden beträchtlich verschieden sind, so findet ein merkliches Mittönen nur bei Flächen statt, welche verhältnissmässig ihres Areals wenig Masse haben.

3) Wird der Körper N statt durch eine einfache Schwingungsbewegung durch eine zusammengesetzte zum Mittönen angeregt, so gilt dasselbe für die einzelnen Componenten der Schwingung: »namentlch macht der Körper nur die Bewegungen merklich mit, welche von seiner eigenen Periode nicht zu sehr verschieden sind.«

Hienach kann man die Möglichkeit einer Auswahl von Tönen aus einem Tongemisch durch geeignete physikalische Veranstaltungen eben so experimental als mathematisch begründet halten.

4) Einem je grösseren Widerstande der Körper N bei seinen Schwingungen durch das umgebende Medium unterliegt, desto grösser kann die Differenz zwischen n und m sein, bei welcher er noch merklich in der Periode m mitschwingt, wonach die Umgebung des Hörnervenenden-Apparates mit Wasser statt mit Luft ausser einer schnellen Dämpfung des Nachklingens auch den Er-

---

*) Seebeck behandelt den Fall für Luft; indess hindert principiell nichts die Uebertragung auf Wasser.

**) Im Originale ist M von der Masse des resonirenden Körpers gebraucht. Uebrigens stimmen unsere Bezeichnungen mit denen des Originals überein.

***) Der zweite und vierte der folgenden Sätze ist aus der S. 265 mitgetheilten Formel zu folgern.

folg haben könnte, den Spielraum der Töne, von welchem die Endplättchen anklingen können, etwas zu erweitern.

Inswischen giebt es zwei andere Schwierigkeiten der Hypothese, die zwar nicht als durchschlagend anzusehen, aber doch auch eben so wenig schon zulänglich gehoben sind, und auf deren genauere Untersuchung und hoffentlich Beseitigung daher das Augenmerk hinzulenken ist.

Die erste ist die, dass die Corti'schen Fasern in der Schnecke und Borsten in den Ampullen nur vermöge einer Verschiedenheit ihrer Dimensionen, Substanz oder Anbringungsweise auf einen verschieden hohen Ton gestimmt sein können. Nun bin ich mit den schon zu grosser Ausdehnung gediehenen anatomischen Untersuchungen über diesen Gegenstand bei Weitem nicht hinlänglich bekannt*), um sagen zu können, was etwa Genaueres von Bestimmungen darüber vorliegt. Ueber die Borsten vergl. in dieser Hinsicht die Bemerkung S. 289. Die Corti'schen Fasern aber scheinen in der ganzen Länge der Schnecke einander sehr ähnlich zu sein, und auch von einer verschiedenen Anbringungsweise finde ich nichts gesagt. Namentlich bemerkte Kölliker**) gegen die von Helmholtz ausgesprochene Hypothese ausdrücklich: »Dass die Grössendifferenzen der Theile des Corti'schen Organs nur minimal sind, die Theile scheinen gegen die Kuppel zu länger zu werden.« Helmholtz erklärte hierauf »die Längenmessungen für weniger wichtig, als die der Dicke.« Nur dürfte zu bemerken sein, dass die transversale Schwingungszahl eines parallelepipedischen Stabes bei gleicher Anbringungsweise unabhängig von der Breite, aber proportional $\frac{d}{l^2}$ ist, wenn d die Dicke, l die Länge des Stabes ist***), wonach Längenänderungen doch einen grösseren Einfluss auf die Tonhöhe haben würden, als Dickenänderungen.

Eine andere Schwierigkeit kann man in dem Umstande finden, dass (meines Wissens wenigstens) keine Fälle bekannt sind,

---

*) Der Zustand meiner Augen nöthigt mich, mich auf das Compendiöseste in Benutzung der Literatur einzurichten.

**) In dem S. 279 angezeigten Berichte der Carlsruher Versammlung S. 216.

***) Vgl. mein Repertor. der Experimentalphysik. Th. I. S. 274.

wo das Gehör für einzelne Töne oder eine Anzahl Töne aus der Mitte der Tonskala insbesondere verloren gegangen wäre, da man doch meinen sollte, dass pathologische Fälle der Zerstörung dieses oder jenes mittleren Theiles der Fasermasse des Acusticus oder der daran angebrachten accessorischen Apparate mitunter vorkommen müssten. Inzwischen ist dabei zu berücksichtigen, einerseits, dass eine Vertretung der Hörnerven beider Seiten gewiss stattfindet, eine Vertretung von Schneckennerv und Labyrinthnerv möglicherweise stattfinden kann, zweitens, dass der mittlere Theil der Skala der Nerventasten Schädigungen nicht leicht anders als durch bis dahin reichende Schädigung der extremen Theile zugänglich sein dürfte. Dass aber die Hörbarkeit der Töne eben sowohl von der unteren als oberen Gränze der Hörbarkeit herein abnorm verkürzt sein kann, ist S. 169 angeführt worden. Jedesfalls wäre es nützlich, mehr, als wohl bisher geschehen ist, zu untersuchen, ob nicht vielleicht für einzelne Töne oder Theile der Tonskala das Gehör auf einem oder dem anderen Ohre insbesondere verloren gegangen ist.

Die dritte Hypothese trägt einige der allgemeinsten Verhältnisse, welche zwischen den äusseren Licht- und Schallschwingungen bestehen, auf die dadurch erweckten inneren Schwingungen nach inneren Gründen über.

Unser Hören beruht unter normalen Verhältnissen auf longitudinalen Luftschwingungen, welche unser Trommelfell normal treffen, indem auch von den schief gerichteten Schwingungen doch nur die nach der Normale zerlegten wirksam sein können, die Bewegungen der Gehörknöchelchen zu bewirken, welche die Schwingungen an die *fenestra ovalis* übertragen; hingegen beruht das Sehen auf transversalen Lichtschwingungen. Jene lassen sich wesentlich als geradlinige fassen, diese können geradlinig sein, aber auch alle mögliche kreisförmige, elliptische und zusammengesetzte Formen haben und haben solche wirklich.

Die Hypothese, welche von uns gebraucht wird, ist nun die, dass, dieser normalen Form der äusseren Anregungen entsprechend, das Hören auch innerlich seiner psychophysischen Unterlage nach auf einfachen geradlinigen, das Sehen auf Schwingungen von weniger bestimmten wechselnden Formen beruht. Es ist diess eine Hypothese, denn an sich ist nach der Auseinandersetzung S. 228 nicht zu erwarten, dass die äusseren Schwingungen sich

in unveränderter Form ins Innere an unseren Nervenapparat übertragen. Auch besteht unsere Hypothese nicht darin, dass die innere Form der äusseren vermöge directer Uebertragung der äusseren, sondern wegen Anpassung der inneren Bedingungen zu einer im Allgemeinen entsprechenden Form als die äusseren haben, entspreche, so dass z. B. im Hörnerven die Schwingungen auch dann einfach geradlinig ausfallen, wenn die anregenden Schwingungen ausnahmsweise durch die Kopfknochen in irgendwelcher anderen Richtung und Form als gewöhnlich durch das Trommelfell zutreten, und dass auch beim Auge sich nicht geradlinige Schwingungen des Lichtstrals unverändert in geradlinige, kreisförmige in kreisförmige übersetzen, was vielmehr, wie S. 227 gezeigt, einen Widerspruch zwischen Erfahrung und Theorie setzen würde, sondern dass nur überhaupt nach der Einrichtung des Sehapparates innerlich dergleichen verschiedene Formen so gut wie äusserlich entstehen können.

Der Hauptgrund für diese Hypothese fällt wesentlich mit einem der Gründe für die vorige Hypothese zusammen. Die Bedeutung des Octavenintervalles, welche sich durch die Elementaranalyse der Empfindungsverhältnisse zum Schlusse des 30. Kapitels und im 32. Kapitel herausgestellt hat, gilt wesentlich nur für einfache geradlinige Schwingungen. Eine Theorie, welche mittelst solcher Analyse Rechenschaft von dieser Bedeutung des Octavenintervalles für die Töne geben will, muss also voraussetzen, dass die Schwingungen in den Nerven, auf denen die Empfindung der Töne beruht, geradlinig und dass sie nicht zusammengesetzt sind, wovon Erstes der jetzigen, das Zweite der vorigen Hypothese entspricht. Sie muss aber zur Erklärung, warum das Octavenintervall nicht dieselbe Bedeutung für die Farben als Töne hat, zugleich voraussetzen, dass die Schwingungen in den Nerven, welche den Farben unterliegen, nicht eben so einfach geradlinig sind.

Zur Unterstützung kann dann wieder das Vorkommen der Tastenapparate an den Enden des Hörnerven zugezogen werden, welches die Entstehung einer immer identischen einfachen Schwingungsform hier leicht denkbar macht, indess ähnliche Apparate an den Enden des Sehnerven fehlen, und der Gesichtspunct, dass eine Einrichtung der Sinnesorgane auf ein gewisses allgemeines

Entsprechen zwischen der Form der äusseren anregenden und innerlich angeregten Schwingungen an sich natürlich erscheint.

Uebrigens würde nicht nöthig sein, eine mathematisch geradlinige Form für die Schwingungen im Gehörnerven vorauszusetzen, sondern genügen, dass sie nur sehr wenig von der geradlinigen abweichen; da überall sehr kleine Abweichungen die Empfindung nicht merkbar afficiren.

Die vierte Hypothese, die ich aufstelle, widerspricht den gewöhnlichen Annahmen gewissermassen im umgekehrten Sinne als die zweite. Nach der zweiten liest sich jede Acusticusfaser aus einem zusammengesetzten objectiven Tongemische ihre besondere Schwingungszahl heraus, nach unserer jetzigen vollzieht umgekehrt jede Opticusfaser unter dem Einflusse selbst des einfachsten Farbenreizes eine Zusammensetzung von Schwingungen, und während es keine ähnlich zusammengesetzten subjectiven Töne als objectiven giebt, giebt es keine in ähnlichem Sinne einfachen subjectiven wie objectiven Farben, sondern die einfachste objective Farbe ruft blos die verhältnissmässig einfachste subjective Farbenmischung, d. i. Zusammensetzung von Schwingungen verschiedener Dauer hervor, und die Qualität der Empfindung, welche daran hängt, beruht auf der Zusammensetzungsweise dieser Mischung.

Der bindendste Grund für diese Ansicht scheint mir in der Abweichung zu liegen, welche die Farben nach der Bemerkung Th. I. S. 175 und den Angaben Th. II. S. 274 f. vom Weber'schen Gesetze darbieten. Wenn die den äusseren Schwingungszahlen n, n', n''.... entsprechenden inneren Schwingungszahlen bei einfachen homogenen Farben eben so einfach wieder n, n', n'' sind, als wir es bei einfachen Tönen Grund haben anzunehmen, so lässt sich für die Abweichung derselben vom Weber'schen Gesetze keine Erklärung finden. Wenn jedoch bei Farben jeder einfachen äusseren Schwingung eine zusammengesetzte innere Schwingung entspricht, so lässt sich übersehen, dass die Unterscheidbarkeit zweier Farben nicht mehr blos von den Verhältnissen der äusseren Schwingungszahlen nach dem Weber'schen Gesetze für sich abhängig gemacht werden kann, sondern eine complexe Form der Verhältnisse werden muss, mit welchen die componirenden Stralen in das erweckte Farbengemisch eingehen.

Zugleich lässt sich unter der im Abschnitte *a*) mit grosser

Wahrscheinlichkeit begründeten Voraussetzung, dass die Schwingungszahlen der Netzhaut eine gewisse Gränze nicht zu überschreiten vermögen, übersehen, dass an den Gränzen des sichtbaren Spectrum die Unterscheidbarkeit der Farben verhältnissmässig geringer sein muss, als nach der Mitte, wie es nach Erfahrung wirklich der Fall ist. Denn nach Massgabe, als der erregende Stral sich von dem mittleren Theile des Spectrum einer der Gränzen nähert oder gar über die Gränze hinausgeht, über welche die Schwingungszahlen der Netzhaut nicht reichen, werden verhältnissmässig die Schwingungszahlen der mittleren Stralen überwiegend bleiben, und wird also auch um so weniger leicht im Fortschritte nach den Gränzen eine Unterscheidung von den nach der Mitte liegenden Stralen möglich sein.

Wenn sich überhaupt fragt, in welchem Verhältnisse sich das innere Farbengemisch, was nach uns voraussetzlich durch einen einfachen homogenen Farbenstral erweckt wird, aus Componenten zusammensetzt, so haben wir, falls wir die Hypothese statuiren, unstreitig zwei Momente in Betracht zu ziehen. Von einer Seite ist zu erwarten, dass die Schwingungszahl der erregenden Farbe mit der grössten Stärke in dem erregten Gemische wiederklinge und die anderen Zahlen nach Massgabe schwächer, als ihre Zahlen weiter davon abweichen. Von anderer Seite aber ist zu erwarten, sofern die Erregbarkeit der Netzhaut überhaupt nur innerhalb gewisser Gränzen der Schwingungszahlen eingeschränkt ist, dass eine Schwingungszahl mit verhältnissmässig um so grösserer Stärke entsteht, je weiter sie von dieser Gränze entfernt ist, so dass schliesslich beide Umstände in Verbindung in Betracht kommen.

Die Gränzen der inneren Schwingungszahlen werden hienach enger sein müssen, als die der äusseren, wodurch sie erregt werden, weil eine äussere Schwingungszahl, welche so hoch oder niedrig ist, dass die Netzhaut ihr nicht mehr zu correspondiren vermag, doch noch schwache Schwingungen zu erwecken und dadurch sichtbar zu werden vermag, die zwischen die Gränzen der erregbaren fallen, so dass das äusserste Roth und Violet innerlich als durch Schwingungen gebildet angesehen werden muss, welche an die Langsamkeit und Schnelligkeit der äusseren nicht mehr reichen.

Abgesehen von diesen subjectiven Momenten wird die Helligkeit, mit der jeder Theil des Spectrum erscheint, noch von der objectiven Intensität, mit welcher der Lichtstral auf die Netzhaut trifft, abhängen, welche nach den Erörterungen im Abschnitte *a*) unter Voraussetzung der Identitätsansicht von Licht und Wärme für den sichtbaren Theil des Spectrum durch die thermischen Wirkungen als gegeben angesehen werden kann, sofern in diesem Theile (nach S. 256 f.) keine ungleichförmige Absorption durch die Augenmedien besteht.

Vielleicht könnte man meinen, dass die Abweichung der Far-

ben vom Weber'schen Gesetze mit der nach der Stelle des Spectrum variabeln Helligkeit derselben zusammenhienge. Aber dann müsste auch bei Tönen die Unterscheidbarkeit der Höhen mit von Verhältnissen der Stärke abhängen, was nicht der Fall ist.

Mit Vorigem erklärt sich dann zugleich, warum die Farbe überhaupt vielmehr dem Klange, dem Gemische von Tönen, als dem einfachen Tone analog scheint, und etwas der Höhe der Töne Entsprechendes bei Farben nicht vorkommen, hingegen vielmehr die Beurtheilung derselben nach ihrer Abweichung vom Weiss oder als Bruchtheile des Weiss sich geltend machen kann, sofern selbst der einfachsten objectiven Farbe ein subjectives Farbengemisch entspricht, analog dem, was entstände, wenn alle möglichen Töne innerhalb eines gegebenen Intervalles zusammen angeschlagen würden. Dabei bleibt aber doch die Verschiedenheit, dass der gemischte Ton sich aus Tönen zusammensetzt, die in verschiedene Acusticusfasern fallen, die gemischte Farbe aus solchen, die in dieselbe Faser fallen, was beiträgt, zu erklären, dass doch Klang nicht Farbe ist.

Es wird ferner nun um so leichter erklärlich, wie eine Composition zweier objectiv einfachen Farben einen entsprechenden Eindruck als eine einfache Farbe hervorbringen kann, da selbst die objectiv einfache eine subjectiv zusammengesetzte repräsentirt.

Inzwischen fragt sich, ob die Hypothese überhaupt möglich, und nach den Bedingungen, unter denen die Farben im Auge entstehen, wahrscheinlich ist.

Nun kennen wir die mechanischen Bedingungen, unter denen sich die Lichtschwingungen in Nervenschwingungen übersetzen, nicht hinlänglich, um der Hypothese danach *a priori* widersprechen oder sie dadurch stützen zu können. Die Möglichkeit derselben aber lässt sich durch Thatsachen beweisen, und die Wahrscheinlichkeit derselben durch solche stützen. In dieser Hinsicht mache ich Folgendes geltend.

1) Selbst im Gebiete der objectiven Lichtlehre kann eine einfache homogene farbige Schwingung in einem Medium durch Mittheilung ein anderes zu einer zusammengesetzten Farbenschwingung anregen. Es ist diess nämlich der Fall der Fluorescenz. Bekanntlich wird durch fluorescirende Substanzen die Schwingungszahl der brechbareren Farben überhaupt erniedrigt; aber nach den Untersuchungen von Stokes geschieht diess im Allgemeinen nicht

so, dass die homogene Farbe sich in eine andere homogene von geringerer Schwingungszahl umsetzt; sondern das, durch homogene Farbenstralen hervorgerufene, dispergirte Licht findet sich im Allgemeinen mehr oder weniger zusammengesetzt.

Ob nun von den Gesetzen der Fluorescenz eine speciellere Anwendung auf unseren Fall zu machen, und dem Umstande, dass die Netzhaut selbst nach dem Tode noch eine gewisse Fluorescenz zeigt, wie Helmholtz ermittelt hat (vgl. S. 247), eine gewisse Bedeutung hiebei beizulegen, kann hier zunächst ganz dahingestellt bleiben; es wird der Fluorescenz wesentlich nur insofern gedacht, als ihre Thatsache beweist, dass unsere Hypothese nichts den allgemeinen Bewegungsgesetzen Widersprechendes, sondern wirklich Vorkommendes fodert*), mögen auch im Uebrigen die Verhältnisse und Gesetze der Fluorescenz, deren Grund selbst noch nicht ergründet ist, ganz andere sein. Nicht eine Analogie mit der Fluorescenz, sondern Thatsachen anderer Natur scheinen mir die jetzige Hypothese zu fodern.

2) Zu Hülfe kommt in dieser Hinsicht, dass factisch jede Opticusfaser sogar freiwillig, ohne äusseren Farbenreiz, alle Farbestralen bis zu gewissem Grade entwickelt, sofern das, eine schwache Lichtempfindung repräsentirende Augenschwarz farblos ist. Diess erleichtert, sich zu denken, dass jeder, selbst der einfachste Farbenreiz alle, wahrscheinlich in einer gewissen Solidarität stehende, Thätigkeiten, deren die Opticusfasern fähig sind, im Zusammenhange auslöst, nur mit verhältnissmässigem Uebergewichte derjenigen Schwingungsweise, welche dem Reize selbst zukommt, und welche von den Gränzen der Schwingungsfähigkeit der Netzhaut am meisten entfernt ist.

3) Dieser Grund verstärkt sich dadurch, dass in abnormen Fällen gar keine Farben mehr unterschieden werden, indess doch der Lichteindruck der Farben noch fortbesteht. Diess scheint keine andere Deutung zuzulassen, als dass in solchen Fällen jeder äussere Farbenstral alle Farbenthätigkeiten in innerlich gleichem Verhältnisse auslöst, und die bekannten Fälle fehlerhaften Farbesehens scheinen ebenfalls am leichtesten ihre Erklärung dadurch

---

*) Hinsichtlich der Vorstellbarkeit der mechanischen Bedingungen kann man dabei die Erörterung von Stokes bezüglich der Fluorescenz in Pogg. Ann. 4ter Ergänzbd. S. 323 ff. vergleichen.

zu finden, dass das normale Verhältniss zwischen den Componenten des Farbengemisches gestört ist.

»Die Achromatopsie, sagt Rüte, umfasst den Zustand, wobei der Kranke keine deutliche Idee von den Farben hat, wobei er weder Gelb noch Roth, noch Blau zu unterscheiden vermag, wo Alles grau erscheint (selten). — Beispiel in Hudart's Brief an Joseph Priestley (*Philosophical transactions* 1777. p. 260). Vier Brüder konnten nur Weiss und Grau unterscheiden. Ein anderes, von Rosier mitgetheiltes Beispiel s. in dessen *Observations sur la physique et l'histoire naturelle vol. VIII. p.* 87. *année* 1779.«

Die verschiedene Empfindlichkeit für Farben, die sich abnormer Weise zwischen verschiedenen Individuen zeigt, zeigt sich sogar normalerweise in gewissem Sinne zwischen verschiedenen Stellen der Netzhaut, wie die oben (S. 277) angeführten Erfahrungen von Helmholtz lehren.

4) Der eigenthümliche Umstand, dass alle einfachen wie zusammengesetzten Farben sich um so mehr dem Weiss nähern, je mehr man die Intensität derselben verstärkt (vgl. S. 278), lässt nach unserer Hypothese die Deutung zu, dass das verhältnissmässige Uebergewicht der, der erregenden entsprechenden Hauptfarbe über die Beifarben sich mit wachsender Amplitude immer mehr mindert, und überhaupt die verhältnissmässige Stärke der Componenten der erregten Farben sich immer mehr der im Weiss stattfindenden nähert. Wie nun diess nach mechanischen Gesetzen geschehen könne, mag noch Gegenstand der Frage sein; es scheint mir aber, dass ohne die Hypothese die Thatsache, um die es sich hier handelt, überhaupt unerklärlich bliebe.

Allerdings auch die Tonhöhe ändert sich mit der Amplitude der Schwingungen. Der Ton einer transversal schwingenden Stimmgabel zieht sich bekanntlich beim Verhallen, wo die Schwingungen kleiner werden, etwas in die Höhe*), und überhaupt ist es nach W. Weber eine Eigenschaft aller transversal schwingenden Körper, dass ihr Ton etwas tiefer bei grösserer als bei kleinerer Amplitude ist, insofern nicht Spannungsänderungen dabei stattfinden, indess für alle longitudinalschwingenden Körper, ganz besonders Luftsäulen, das Entgegengesetzte gilt. Transversalschwingende Saiten freilich klingen etwas höher bei grösserer als kleinerer Excursion, aber nur, weil ihre Spannung bei grösserer Excursion grösser wird**). Keinesfalls aber wird der Ton durch seine Verstärkung einem Geräusche ähnlicher. Ich

*) W. Weber, Pogg. XIV. 402.

**) Vgl. W. Weber, Pogg. XXVIII. 5.

habe mir sogar von einem Musiker sagen lassen, dass durch reichere Besetzung eines Orchesters oder Chores der Ton, wie er sich ausdrückte, etwas Idealeres erhalte, indem die dem Tone fremdartigen Nebengeräusche dann verhältnissmässig weniger spürbar würden.

Nach der fünften, mit der vorigen zusammenhängenden, Hypothese setze ich voraus, dass die Lichtempfindung nicht wie die Schallempfindung von einem Bewegungszustande abhängt, der sich bei derselben Empfindung in derselben Weise an allen zur Empfindung beitragenden Theilchen des empfindenden Organes wiederholt, so dass nur die Phase der Bewegung zu derselben Zeit für verschiedene Theilchen verschieden ist, und nach der Bewegung jedes einzelnen Theilchens insbesondere beurtheilt werden kann, sondern dass zum Zustandekommen selbst der elementarsten Lichtempfindung ein System von Theilchen (ein Molecul aus einer Mehrzahl von Atomen wägbarer und unwägbarer Materie) gehört, in welchem die einzelnen Theilchen Bewegungen verschiedener Art vollziehen, die sich im Allgemeinen als Schwingungen von verschiedener Periode, Amplitude und vielleicht auch Form werden fassen lassen. Kurz: indess der Bewegungszustand, an dem das Hören hängt, jedes dazu beitragende Molecul im Ganzen ergreift, und alle Molecule dieselbe Bewegung wiederholen, gerathen beim Sehen die Theilchen desselben Moleculs in individuell verschiedene Bewegungen.

Jedes mit dem anderen solidarisch zur Lichtempfindung zusammenwirkende Theilchen entspricht, in soweit ihm eine Bewegung von einfacher Periode beigelegt werden kann, mit seiner eigenthümlichen Schwingungszahl einer gewissen einfachen objectiven Farbe, die wir aber nie einfach erblicken, und nach der Natur der Lichtempfindung gar nicht einfach erblicken können, da die einfachste Lichtempfindung überall schon das solidarische Zusammenwirken verschieden erregbarer und erregter Theile voraussetzt.

Wie viel in den Moleculen auf das Wägbare und Unwägbare insbesondere zu rechnen, mag für jetzt unentschieden bleiben; da wir keine hinreichenden Kenntnisse haben, um es zu sondern, wennschon ich mir denke, dass die Lichtempfindung wesentlich auf den Schwingungen des Unwägbaren ruht, die desshalb für verschiedene Aethertheilchen verschieden sind, weil nicht alle

sich unter den gleichen Verhältnissen zu den wägbaren Theilchen befinden. Es herrscht aber selbst unter den mathematischen Physikern noch so viel Schwanken über den Antheil, der den wägbaren Theilchen an dem Zustandekommen der objectiven Lichterscheinungen in den Körpern beizulegen, dass ich nicht wagen möchte, irgends entschiedene Voraussetzungen auszusprechen.

Diese Hypothese ist eine nähere Bestimmung der vorigen, nach welcher jeder noch so einfachen erregenden äusseren Farbenschwingung innerlich eine Mehrheit von Schwingungszuständen mit verschiedenen Perioden und Amplituden entspricht. Nun kann aber nach den Principien der Interferenz auch ein einzelnes Theilchen in verschiedenen Schwingungszuständen gleichzeitig als begriffen angesehen werden, und die vorbesprochenen Thatsachen liessen noch sehr wohl die Deutung zu, dass alle zum Sehen beitragenden Bewegungen als zusammengesetzte Schwingungsbewegungen zu fassen seien, welche sich eben so an allen einzelnen, zum Sehen beitragenden Theilchen wiederholen, wie es bei den zum Hören beitragenden einfachen Schwingungsbewegungen voraussetzlich der Fall ist. Aber andere factische Verhältnisse scheinen die jetzige Hypothese zu fodern, welche nicht ausschliesst, dass auch die einzelnen Theilchen eben so in zusammengesetzte wie einfache Schwingungsbewegungen gerathen können.

Ehe wir auf die Gründe für die Hypothese eingehen, wird sie etwas näher zu entwickeln sein.

Des Näheren werden wir uns nach dieser Hypothese ein zur Lichtempfindung anregbares Molecul als ein System mehrerer Theilchen (Atome) zu denken haben, deren jedem, wenn es aus seiner ursprünglichen Gleichgewichtslage verrückt wird und sich selbst überlassen bleibt, nach seiner relativen Entfernung und Masse gegen die anderen eine eigenthümliche Schwingungszahl zukommt, etwa wie Stimmgabeln, Stäben oder Saiten, die durch Befestigung auf einem gemeinsamen Resonanzboden zu einem Systeme verbunden sind, nur dass die Bestimmung zu einer eigenthümlichen Schwingungszahl für jeden dieser zum Systeme verbundenen Körper durch das Verhältniss seiner eigenen Theile gegen einander gegeben ist, für die zum Molecul verbundenen Theilchen aber durch ihr Verhältniss zu den anderen Theilchen desselben Mole-

culs*). Schon ohne äusseren Lichtreiz sind alle erregbaren Theilchen in einer gewissen Schwingungsbewegung begriffen, wovon die farblose Empfindung des Augenschwarz abhängt. Wenn die Amplituden derselben sich absolut bei unverändertem Verhältnisse ihrer Grösse und unveränderter Schwingungszahl vergrössern, so entsteht die Empfindung des weissen Lichtes; hingegen die Empfindung der Farbe, wenn die Schwingungsproducte an, $a'n'$, $a''n''$..., welche den einzelnen Theilchen zukommen, ein anderes Verhältniss annehmen, als dem farblosen Augenschwarz entspricht.

Diess geschieht nun im Allgemeinen unter dem Einflusse eines Farbenreizes. Hiebei ändert sich der Schwingungszustand des ganzen Systemes nach Gesetzen, die wir *a priori* nicht festzustellen wissen, — denn die einfachen Resonanzgesetze für elastische Körper können hier nicht mehr ausreichen; — die Entstehung der Farbe durch den Farbenreiz nöthigt blos im Allgemeinen, eine Abänderung in den Verhältnissen der Schwingungsproducte dadurch anzunehmen, ohne entscheiden zu lassen, auf der Abänderung welchen Factors, a oder n, sie vorzugsweise beruht; wahrscheinlich auf beiden.

Folgendes die Gründe für diese Hypothese.

1) Das Licht beweist durch seine chemische Wirksamkeit, dass es wirklich in die inneren Verhältnisse der Molecule abändernd einzugreifen vermag, und die hier über seine Wirksamkeit als Sinnesreiz aufgestellte Ansicht verlangt nichts Anderes. Was wir von der Uebertragung der Schallschwingungen an den Hörnerven wissen, begünstigt keine entsprechende Ansicht bezüglich des Schalles.

2) Jeder Lichtreiz ändert durch seine Einwirkung selbst die Weise, wie er empfunden wird, nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ ab, um so mehr, je stärker er ist, woraus mannichfache subjective Phänomene hervorgehen.

Für alle diese Phänomene, so wenig sie im Einzelnen erklärt und bis jetzt erklärbar sind, lässt sich doch im Sinne unserer Hypothese folgender allgemeine Gesichtspunct der Erklärung aufstellen.

---

*) Da wir die zum Systeme verbundenen Planeten unter dem Einflusse einer dem Systeme immanenten Kraft Bewegungen von verschiedenen Perioden vollziehen sehen, kann in einer solchen Vorstellung jedenfalls nichts an sich mechanisch Unmögliches liegen.

Der Lichtreiz hat nicht blos den Effect, die zur Lichtempfindung solidarisch zusammenwirkenden Theilchen zu Schwingungen um die gegenwärtigen Gleichgewichtslagen anzuregen, oder die vorhandenen Schwingungen zu vergrössern, sondern auch die Gleichgewichtslagen selbst zu ändern, so dass die Theilchen während der Einwirkung des Reizes um andere Gleichgewichtslagen als sonst schwingen, womit sich zugleich die Verhältnisse ihrer Schwingungsproducte an, $a'n'$... abändern. Diese Aenderung tritt mehr oder weniger allmälig unter der Einwirkung des Reizes ein (vgl. hiezu die Thatsachen S. 279), und verschwindet allmälig wieder nach Wegfall des Reizes, so aber, dass die Theilchen nach der Wiederkehr zu den alten Gleichgewichtslagen nicht sofort dabei stehen bleiben, sondern dieselben überschreiten und in entgegengesetzter Richtung dazu zurückkehren, welche Oscillationen noch mehrmals wiederholt werden können. Diese langsamen Oscillationen der Gleichgewichtslagen der Theilchen, von welchen die Periodicität beim Abklingen der Nachbilder abhängt, sind aber nicht mit den schnelleren Oscillationen der Theilchen um die jedesmalige Gleichgewichtslage (wovon die Farbenempfindungen selbst abhängen) zu verwechseln, und es können zur kurzen Unterscheidung jene als Oscillationen erster Ordnung, diese zweiter Ordnung bezeichnet werden.

Man kann sich denken, dass die langsamen Oscillationen wesentlich die wägbaren Theilchen betreffen, welche aber Veränderungen in den davon mit abhängigen Oscillationen der unwägbaren nachziehen. Doch lasse ich diess dahingestellt.

Ich muss jetzt Plateau gegen meine frühere Ansicht darin Recht geben, dass die oscillatorische Form im Ablaufe der Nachbilder die wesentliche Form derselben ist, wobei die erste Phase leicht wegen zu grosser Schnelligkeit, mit der sie vorübergeht, die letzten wegen zu grosser Schwäche oft nicht wahrgenommen werden, ohne dass übrigens damit die von mir gegenüber aufgestellte Ansicht, dass man in dem Phänomen der Nachbilder einen Conflict der Nachdauer und Abstumpfung zu sehen habe, aufgehoben wird, denn diess ist im Grunde blos ein kurzer Ausdruck thatsächlicher Verhältnisse und keine Hypothese. Eine periodische Form dieses Conflictes aber, die ich früher glaubte, nur unter exceptionellen Bedingungen anerkennen zu müssen, ist unstreitig nach folgenden Gründen die normale Form.

Zuvörderst lässt sich dieselbe unter besonderen Versuchsbedingungen *)

---

*) Hierüber s. Plateau in Pogg. Ann. XXXII. 550; Brücke in Pogg. Ann. LXXXIV; Aubert in Moleschott's Unters. IV. 230.

vollständig beobachten, und wo sie nicht vollständig erscheint, doch aus folgenden Verhältnissen erkennen. Jeder Lichteindruck klingt nach Beseitigung des Reizes erst in einer positiven Phase*) nach, wie die gedrehte Scheibe mit weissen und schwarzen oder farbigen Sectoren und die Nachbilder blendender Eindrücke beweisen; darauf folgt eine negative, nach farbigen Eindrücken complementäre, Phase und diese kehrt in den Fällen gewöhnlicher Nachbilder allmälig zum ursprünglichen Zustande zurück, ohne darüber hinauszugehen, indess unter besonderen Versuchsverhältnissen erwähntermassen mehrere Oscillationen zwischen primärer und complementärer Farbe oder Erscheinen und Verschwinden des Nachbildes folgen. Aber auch die Rückkehr zum ursprünglichen Zustande muss doch als eine Oscillation in entgegengesetztem Sinne als der vorherige Gang betrachtet werden, und es wäre gegen alle Analogie, anzunehmen, dass die rückgehende Oscillation bei der ursprünglichen Gleichgewichtslage stehen bliebe, und zeigt sich auch nicht so bei jenen Versuchsbedingungen, wogegen sich leicht denken lässt, dass das Ueberschreiten derselben in entgegengesetztem Sinne vielfach zu gering ist, um noch Phänomene zu geben, welche die Schwelle der Wahrnehmbarkeit überschreiten; wie denn auch bei einer in einem stark widerstehenden Mittel schwingenden Saite der Fall eintreten kann, dass sie nach Rückkehr zur ursprünglichen Lage dieselbe nur noch unmerklich überschreitet; doch ist diese Rückkehr Sache einer Oscillation.

3) Der Hauptgesichtspunct, welcher mir die jetzige Hypothese zu fodern scheint, ist der, dass alle sonst aufgestellten Verschiedenheiten zwischen den inneren Bedingungen der Licht- und Schallempfindung mir nicht genügend scheinen, die verschiedene Grundqualität beider Empfindungen und den Umstand zu erklären, dass die durch verschiedene Opticusfasern percipirten Schwingungen den Eindruck räumlicher Juxtaposition geben, indess die durch verschiedene Acusticusfasern percipirten solchen nicht geben. Unsere jetzige Hypothese aber scheint mir geeignet, Beides im Zusammenhange zu erklären. Denn was das Erste anlangt, so muss es für die Qualität der Empfindung von wichtigster Bedeutung sein, ob als Element, wovon sie physischerseits abhängt, schon die Bewegung jedes Theilchens für sich, oder wesentlich nur der zusammenhängende Bewegungszustand eines Systemes von Theilchen gültig ist**). Und was das Zweite anlangt, so lässt sich leicht denken, dass ein Element extensiver Empfindung auch

*) Positiv und negativ in Brücke's Sinne verstanden.

**) Im Sinne der in meiner Atomenlehre S. 181 ff. dargelegten Ansichten würde ich sagen, die Bewegungen, an die sich die Lichtempfindung knüpft, hängen von multiplen Kräften einer höheren Ordnung ab, als die, an die sich die Schallempfindung knüpft.

den Bewegungszustand eines extensiv explicirten Systemes als wesentliche Unterlage fodert.

XXXIV. Ueber die extensiven Empfindungen insbesondere.

Durch E. H. Weber's Untersuchungen*) ist es sehr wahrscheinlich geworden, dass die Distanz zwischen zwei berührten oder vom Lichte getroffenen Puncten auf der Haut oder Netzhaut nach Massgabe grösser oder kleiner empfunden wird, als die Anzahl sog. Empfindungskreise grösser oder kleiner ist, welche zwischen den gereizten Puncten liegen, wobei unter Empfindungskreis jede Stelle der Haut oder Netzhaut verstanden wird, welche mit Zweigen derselben elementaren Nervenfaser versorgt wird, oder jede Vereinigung solcher Zweige selbst; sofern hinreichende physiologische Gründe vorliegen, zu glauben, dass alle Zweige derselben Nervenfaser nur geeignet sind, solidarisch einen gemeinsamen Eindruck zum Gehirne zu leiten.

Diese Ansicht ist freilich betreffs der Netzhaut bestritten worden, so namentlich neuerdings von Panum**), und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, »dass die seitlichen Netzhautpartieen die Objecte nicht kleiner sehen als die centralen, welche doch auf einem gleichen Flächenraume eine sehr viel grössere Zahl empfindender Puncte haben.« Unstreitig ist dieser Gegengrund beachtenswerth, aber nicht entscheidend, weil er zu viel beweist. Denn wenn ich einen Finger doppelt so weit vor dem Auge halte, als den anderen, erscheint mir sein halb so grosses Bild doch eben so gross, und zwar kann ich diese Täuschung durch keine Anwendung der Aufmerksamkeit heben. Es würde also nach Panum's Schlussweise zu folgern sein, dass die Grösse des Bildes auf der Netzhaut überhaupt keinen Einfluss auf die Grössenerscheinung hat.

Sehr instructiv in dieser Hinsicht ist folgender Versuch. Man halte einen Zirkel, am besten Stangenzirkel (um nicht Winkelschätzung mit einzumengen) mit einer gemessenen Distanz der Spitzen, Normaldistanz, vor die Augen, einen anderen ganz

---

*) Der Tastsinn und das Gemeingefühl, in Wagner's Wört. S. 528; und eine Abhandlung in den Berichten der sächs. Soc. 1853. S. 85; Auszug daraus in Fechner's Centralbl. 1853. S. 585.

**) Gräfe's Arch. f. Ophthalmol. V. 1 ff.

gleichen in etwa halb so grosser oder doppelt so grosser Entfernung so, dass beider Projectionen auf den Hintergrund neben einander fallen, und suche die Spitzendistanz des zweiten, Fehldistanz, nach dem Augenmasse der Normaldistanz gleich zu machen. Ungeachtet nun die Fehldistanz bei gleicher Grösse mit der Normaldistanz in Betracht ihrer anderen Entfernung vom Auge ein doppelt so grosses oder nur halb so grosses Bild im Auge giebt als die Normaldistanz, macht man sie doch derselben, bis auf einen kleinen variabeln und constanten, Fehler gleich; und zwar ist der constante Fehler bei mir der Art, dass ich die Fehldistanz, wenn sie entfernter als die Normaldistanz ist, immer ein wenig zu klein, wenn sie näher ist, ein wenig zu gross mache, was den von der verschiedenen Entfernung abhängigen Unterschied zwischen der Grösse der Distanzbilder nur noch vermehrt. Hingegen machte eine andere Person die Fehldistanz, sowohl wenn sie die nähere, als wenn sie die entferntere war, immer ein wenig zu gross, eine dritte die nähere ein wenig zu klein, die entferntere ein wenig zu gross. Dabei ist zu bemerken, dass auch, wenn man beide Distanzen aus gleicher Entfernung vom Auge vergleicht, ein kleiner constanter Fehler begangen wird, der bei mir, sowohl bei Rechtslage als Linkslage der Normaldistanz gegen die Fehldistanz, negativ, bei der anderen Person positiv, bei der dritten positiv bei Rechtslage, negativ bei Linkslage der Normaldistanz ist*).

Wie leicht zu erachten, kann die der Wahrheit so nahe kommende Gleichschätzung hier weder auf Gleichheit der Bilder noch der Augenbewegung beruhen, sondern es müssen andere Umstände da sein, welche die in dieser Hinsicht stattfindende Ungleichheit bei der Schätzung corrigiren, und es sind Versuche der Art überhaupt gut geeignet, es scharf zu beweisen. Unstreitig ist es eine Erziehung durch Erfahrungen, welche die das Urtheil mitbestimmenden Momente an die Hand giebt. Wenn aber das durch

*) Das Nähere dieser noch nicht vollendeten Versuchsreihe theile ich künftig anderen Ortes mit. Die Spitzen (blau angelaufene Stahlspitzen) waren parallel, längs einer Stange beweglich, und wurden mit zwei Augen gegen eine weisse Thür betrachtet. Bei Anwendung blos Eines Auges kam bei der dritten der obigen Personen das gleich geschätzte Verhältniss beider Distanzen dem wirklichen Verhältnisse der Bilder im Auge etwas näher, was bei mir nicht der Fall ist, blieb aber auch dort noch weit hinter dem wirklichen Verhältnisse zurück.

Erfahrungen erzogene Urtheil über die Entfernung vom Auge unwillkührlich und zwingend bei der Grössenschätzung mitbestimmend wirkt; warum nicht auch das durch Erfahrung erzogene Urtheil über die Lage des Bildes auf der Netzhaut?

Ausserdem würde ich nach meinen eigenen Erfahrungen nicht einmal wagen, den Satz geradehin auszusprechen, dass das Bild auf den seitlichen Partieen der Netzhaut noch eben so gross erscheine, als auf den centralen. Ich finde es schwierig, wegen Undeutlichkeit des seitlichen Bildes ein sicheres Urtheil in dieser Hinsicht überhaupt zu fällen; doch scheint mir immer die Ausdehnung eines hellen Gegenstandes bei Abwendung des Blickes davon im indirecten Sehen etwas zusammenzuschwinden und bei Zuwendung in directer Fixation sich zu erweitern. Ich will jedoch hierauf kein besonderes Gewicht legen, da hiebei subjective Täuschung möglich wäre, und Andere doch nicht dasselbe zu finden scheinen.

Unstreitig kann man der Ansicht Weber's noch nicht die Evidenz beilegen, welche physiologische Ansichten haben, die nur der unmittelbare Ausdruck von Thatsachen sind; doch scheint sie mir namentlich bei zusammenhängender Berücksichtigung dessen, was für Haut und Auge gilt, durch gewichtige Thatsachen gestützt und bisher noch als die lichtvollste Grundlage für die Theorie der extensiven Empfindungen, an die ich mich daher im Folgenden halten werde, was nicht hindert, in Nebenbestimmungen derselben von ihrem Urheber abzugehen oder solche noch in Frage zu stellen.

Es ist bis jetzt noch streitig, ob die Empfindungskreise rein juxtaponirt sind oder in einander übergreifen (interferiren), wie viel im Minimo nöthig sind, die Empfindung einer merklichen Ausdehnung oder Distanz zwischen zwei Puncten zu erzeugen, welche Rolle die Bewegung der Augen bei Schätzung der Grössen und Distanzen spielt. Diese Fragen sollen hier mit vielen anderen, das Distanzmass betreffenden Fragen, über die ich keine neue Aufklärung zu geben weiss, dahingestellt bleiben*), dagegen auf einige Puncte näher eingegangen werden, deren Untersuchung bezüglich der Stellung, die unsere Lehre zu den extensiven Empfin-

*) Man vergl. die Literatur dazu Th. I. S. 295.

dungen bei Annahme der Weber'schen Ansicht einzunehmen hat, besonders wichtig erscheint, oder für welche sich aus unserer Lehre neue Gesichtspuncte, oder aus Versuchen neue Thatsachen ergeben.

Auf manche Puncte, die hier besprochen werden könnten, gehe ich namentlich desshalb nicht ein, weil Untersuchungen darüber, mit welchen Volkmann beschäftigt ist, vielleicht geeignet sein könnten, in Zukunft noch mehr Licht darüber zu verbreiten.

Der Kürze halber verstehe ich unter Nervendichtigkeit im Folgenden die Zahl Empfindungskreise im Verhältnisse zu der Ausdehnung, in der sie liegen, oder kurz ihre Zahl, dividirt durch diese Ausdehnung. Unstreitig kommt es schliesslich vielmehr auf Anordnungs-, Vertheilungs-, Zusammenhangsverhältnisse der centralen Enden der Empfindungskreise als deren Verhältnisse auf Haut und Netzhaut selbst an; aber jene sind unbekannt, und die Beobachtung kann sich nur an letztere halten.

Abgesehen von der angeborenen Einrichtung unserer Empfindungsorgane, welche uns nach Weber's Principe eine Ausdehnung um so grösser erscheinen lässt, je mehr Empfindungskreise sie deckt, wird ein durch Erfahrung gebildetes Urtheil noch durch viele Umstände bei der Grössenschätzung mitbestimmt; und es ist wichtig, beides nicht zu vermischen, zu verwechseln oder eins zu einseitig geltend zu machen.

So viel möglich, wird im Folgenden von den das Urtheil bei der Grössenschätzung nach Erfahrung mitbestimmenden Ursachen abstrahirt werden, um blos das, was von der angeborenen Einrichtung abhängt, in Betracht zu ziehen.

Wenn ich die Augen schliesse, habe ich ein schwarzes Gesichtsfeld, welches mir eine sehr geringe Ausdehnung zu haben scheint. Wenn ich die Augen öffne und in eine reiche Gegend blicke, scheint mir das Gesichtsfeld ungeheuer; wenn ich mich auf dem Meere befinde, ohne fernes Land oder ferne Schiffe zu sehen, oder auf einer öden Fläche, wo keine Gegenstände in der Ferne mir einen Anhalt des Urtheiles über die Ferne des Horizontes geben, erscheint mir der Horizont sehr nahe, der Gesichtskreis eng.

In allen diesen Fällen bleibt die angeborene Einrichtung, welche der Grössenschätzung unterliegt, dieselbe; aber bei geschlossenen Augen fallen die unser Urtheil nach Erfahrung mitbestimmenden Gründe, namentlich alle Verhältnissbestimmungen,

weg. Ich halte daher die Grösse des Gesichtsfeldes, so wie sie uns bei geschlossenen Augen erscheint, für diejenige, welche uns die blos von der angeborenen Einrichtung abhängige Grössenerscheinung, die der Ausdehnung und Nervendichtigkeit unserer Netzhaut entspricht, am reinsten repräsentirt.

Es hat etwas Merkwürdiges, dass sich durch Oeffnung unserer Augen am Tage die extensive Grösse des Gesichtsfeldes scheinbar ungefähr in demselben Verhältnisse vergrössert, als dessen Helligkeit.

Wundt in seiner Abhandlung über Tastversuche in Henle und Pfeufer Zeitschr. 1858 führt S. 262 folgenden Versuch an:

»Man nimmt zwei gleiche Zirkel mit abgeschliffenen Spitzen, mit dem einen derselben berührt man bei einer bestimmten Zirkelöffnung die gewählte Hautstelle der dem Versuche sich unterziehenden Person; dieser, die ihr Gesicht vom Experimentirenden abgewendet hat, giebt man den zweiten Zirkel in die Hand und lässt sie mit diesem nach dem Augenmasse die Entfernung der Spitzen des ersten Zirkels, so wie sie ihr nach dem Gefühlseindrucke erscheint, bestimmen. Da hiebei die Unsicherheit des Augenmasses im Vergleiche zur Unsicherheit der Gefühlsschätzung verschwindend klein ist, so giebt die Vergleichung der scheinbaren, aus der Gefühlswahrnehmung bestimmten Entfernung der Eindrücke mit ihrer wirklichen Entfernung ein unmittelbares Mass ab für die Feinheit der Haut in der Raumschätzung« u. s. w.

Der hier ausgesprochenen Voraussetzung, dass die Unsicherheit des Tastmasses unvergleichlich grösser sei, als die des Augenmasses, vermöchte ich nicht beizutreten, und mithin auch nicht dem darauf gebauten Massprincipe; vielmehr kommt die Feinheit in der Distanzschätzung durch das Tastmass unter den dafür günstigsten Umständen der durch das Augenmass ziemlich nahe.

Ein eben so leichtes als genaues Mittel, diess zu constatiren, liegt in Versuchen nach der Methode der mittleren Fehler, welche ich im 8. Kapitel auseinandergesetzt habe. Nun habe ich viele Versuche zu verschiedenen Zeiten und zu verschiedenen Zwecken über Augenmass und noch mehr über Tastmass nach dieser Methode angestellt, und bei beiderlei Massen je nach der Anstellungsweise der Versuche, der Stufe der Uebung und bei dem Tast-

masse auch nach dem Hauttheile sehr verschiedene Verhältnisse gefunden, niemals aber und nirgends solche, nach welchen die Genauigkeit der Schätzung durch das Tastmass als verschwindend klein gegen die durch das Augenmass gelten könnte, wennschon sie immer geringer für das Tastmass als Augenmass geblieben ist. Ich begnüge mich hier, die Maximumwerthe, die ich bei beiderlei Massen in möglichst vergleichbaren Versuchen mit geübten Organen erhalten habe, anzuführen.

In einer Tastversuchsreihe nach der Methode der mittleren Fehler, welche ausführlich im folgenden Kapitel als Reihe VI. Abth. γ beschrieben ist (wo man das Detail nachlesen kann), wurde auf dem Vordergliede des linken Zeigefingers eine Normaldistanz $= 10\ d$*), angewandt. 400 Versuche (je 100 in einer anderen Zeit- und Raumlage angestellt) gaben einen einfachen reinen variabeln Mittelfehler der Schätzung, der (nach Correction wegen des endlichen m und wegen Grösse der Intervalle) nur $\frac{1}{85}$ der Normaldistanz betrug, einen constanten Fehler (im Mittel seiner absoluten Werthe bei allen 4 Zeit-Raumlagen bestimmt) gleich $\frac{1}{42}$ der Normaldistanz. Der reine variable Fehler ist hiebei massgebender als der constante für die Genauigkeit der Distanzschätzung, weil der constante Fehler nur von dem ungleichen Verhältnisse abhängt, in welchem die verglichenen Grössen nach Zeit, Raum und anderen Umständen in den Vergleich eintreten, wie früher genügend besprochen ist. Uebrigens kann auch der constante Fehler bei Tastversuchen noch beträchtlich geringer ausfallen, als vorhin, denn bei einer anderen Abtheilung derselben Versuchsreihe, d. i. Reihe VI. Abth. α, welche keine gleiche Genauigkeit der Distanzschätzung gestattete, daher einen erheblich grösseren variabeln Fehler gab, wurde im Mittel ebenfalls von 400 Versuchen für dieselbe Normaldistanz auf demselben Fingergliede ein (corrigirter) reiner variabler Mittelfehler $= \frac{1}{55}$ der Normaldistanz, ein constanter Fehler nur $= \frac{1}{90}$ der Normaldistanz erhalten. Die Abtheilung α, wo der reine variable Fehler grösser, der constante Fehler kleiner war, und Abtheilung γ, wo das Umgekehrte stattfand, unterschieden sich darin, dass bei Abtheilung α die beiden Zirkel, durch welche die Distanzen (Normaldistanz und Fehldistanz) bestimmt wurden, von einem Gehülfen applicirt wurden,

*) $d = \frac{1}{2}$ par. Decimallinie, $= 0{,}72$ Duod.-Linie.

bei Abtheilung γ aber der Finger zwischen dem Normalzirkel und Fehlzirkel, welche neben einander festgeklemmt waren, hin- und herbewegt wurde, wie im folgenden Kapitel näher beschrieben ist, wodurch diese Versuchsreihe um so vergleichbarer mit der folgenden über das Augenmass wird, sofern auch die Augen bei den Augenmassversuchen von einer verglichenen Distanz zur anderen wandern. Letztere Application der Zirkel kann nach kurzer Uebung viel gleichförmiger, als die durch einen Gehülfen, geschehen; daher der so viel kleinere variable Schätzungsfehler.

Die Versuche über das Augenmass, bei welchen ich bisher die kleinsten Schätzungsfehler erhalten habe*), sind mit Distanzen angestellt, welche durch die verticalen, blau angelassenen, sich rein conisch zuspitzenden Stahlspitzen (von 19,7 *d* Länge) zweier ganz gleicher Stangenzirkel**), gegen eine dem Fenster gegenüber befindliche weisse Thür als Hintergrund neben einander gehalten, bestimmt sind. Es gaben mir bei derselben Normaldistanz = 10 *d*, 200 Beobachtungen (100 bei rechter, 100 bei linker Lage der Normaldistanz) einen (corrigirten) reinen variabeln Mittelfehler = $\frac{1}{126}$ der Normaldistanz und einen constanten Fehler = $\frac{1}{114}$ der Normaldistanz, welcher bei beiden Lagen negativ war. Es wird Gelegenheit sein, anderwärts auf diese Reihe zurückzukommen, da dieselbe nur Theil einer, zu anderen Zwecken angestellten, Reihe (vgl. S. 312) ist.

Die Versuchsweise, welche Wundt auf seine Voraussetzung gründet, tritt unter die Th. I. S. 131 betrachtete Methode der Aequivalente, und kann sie auch das nicht leisten, was Wundt damit beabsichtigte, so hat sie doch einiges Interesse, insofern sie einen vergleichbaren Massstab für die Schätzungsweise von Distanzen mit Haut und Auge an die Hand giebt.

---

*) Sie sind sehr erheblich kleiner, als die, Th. I. S. 214 ff. bei geringerer Uebung und mit unvollkommenen Massregeln erhaltenen.

**) Also durch 4 parallele Spitzen, je 2 für eine Distanz. Drei parallele Spitzen, eine mittlere zwischen zwei seitlichen an derselben Stange sind unstreitig noch vortheilhafter zur Bestimmung beider zu vergleichender Distanzen, und meine Stangenzirkel auch hierauf eingerichtet, aber ich habe noch keine Versuche auf diese Weise angestellt. Zur Vergleichbarkeit mit den Tastversuchen war obige Anwendungsweise vorzuziehen.

Freilich ist der Vergleich weit unsicherer, als wenn man sich der Methode der Aequivalente in einem Sinnesgebiete für sich bedient, und wohl überhaupt nur durch Erfahrungen, die wir früher beim beziehentlichen Gebrauche der beiderlei Sinnesorgane gemacht haben, vermittelt. Auch bin ich nicht ganz sicher, dass man sich nicht eine Art Vergleichsmassstab dabei in der Phantasie willkührlich macht, und den einmal gemachten dann ungefähr einhält; indess findet man über gewisse Gränzen hinaus eine mit einer Tastgrösse verglichene Augenmassgrösse entschieden und ganz unwillkührlich respectiv zu gross oder zu klein; so dass nur der Verdacht bleibt, ob nicht die Gränze der Schwankung durch eine Mitbestimmung Seitens der Phantasie verringert werde, was ich zwar bei den folgends mitzutheilenden Versuchen möglichst zu vermeiden gesucht habe, was ich aber doch nicht als fehlend verbürgen kann. Jedesfalls dürfte sich blos durch viele Versuche an mehreren Personen und unter sehr abgeänderten Umständen etwas Bestimmtes aus derartigen Versuchen schliessen und das Constante vom Zufälligen scheiden lassen; es liegt mir aber kein wichtiger Gesichtspunct vor, welcher zur Mühe so ausgedehnter Versuche auffodern könnte. Jedoch will ich die Resultate einer eigenen Versuchsreihe anführen, die eine Variation nach einigen Umständen enthält, ohne dass ich freilich schliesslich eine besonders belangreiche Folgerung daraus zu ziehen wüsste. Vielleicht kann sie doch in Zusammenstellung mit etwa von Anderen vorzunehmenden Versuchen nützlich werden und auf einige dabei wahrzunehmende Puncte aufmerksam machen.

Die Distanz, welche als feste dem Vergleiche untergelegt wird, heisse die A–Distanz, die äquivalent damit gefundene die B–Distanz.

Eine A–Distanz = 10 d wurde auf einer, auf weissem Papiere gezogenen horizontalen schwarzen Linie durch zwei kleine Strichelchen abgegränzt, aus gewöhnlicher Sehweite betrachtet und dann mit einem gestielten und an den Stielen gefassten Zirkel ohne Zuziehung der Augen die äquivalent erscheinende B–Distanz dazu auf dem linken Mittelfinger gesucht, so dass allemal die hintere Spitze in die Gelenkfuge zwischen dem vorderen und Mittelgliede, die andere nach vorn aufgesetzt wurde. Im Mittel von 100 Versuchen fand ich in einer e r s t e n Abtheilung der Versuchsreihe mit 10 d des Augenmasses 8,582 d des Tastmasses äquivalent, was ich kurz schreibe:

Augenm. *A* 10 = Tastm. *B* 8,582.

Eine zweite Abtheilung der Reihe gab mir eben so im Mittel von 100 Versuchen äquivalent mit 5 *d* Augenmass 5,842 Tastmass; also Augenm. *A* 5 = Tastm. *B* 5,842. Während bei der vorigen grösseren Distanz die Augenmassgrösse überwog, überwog hier, wie man sieht, die Tastgrösse.

In einer dritten Abtheilung wurde umgekehrt eine Distanz = 10 *d* auf dem Fingergliede abgegränzt, und dazu auf einer langen Horizontallinie die dem Auge äquivalent erscheinenden *B*-Distanzen hinter einander mit Strichelchen abgegränzt; dann jedesmal 10 solche Distanzen zusammen gemessen. Ich finde diese Gleichschätzung, wo die *A*-Distanz auf die Tastseite fällt, besonders unsicher, unsicherer als die in umgekehrter Richtung, und nicht durch langes Probiren zu heben. Die Abgränzung der 10 äquivalent geschätzten Distanzen geschahe daher immer schnell hinter einander nach eben so viel Hautberührungen mit dem Zirkel ohne Achthaben auf die vorher abgegränzten Distanzen. Im Mittel von 100 Versuchen wurde mit Tastmass *A* 10 äquivalent gefunden Augenmass *B* 13,473.

In einer vierten Abtheilung wurde *A* Tastm. 5 = Augenm. *B* 3,202 gefunden.

Man könnte meinen, es müsse den Vergleich erleichtern, wenn man die Augenmassgrösse fortgehends im Auge behält, während man das Tastäquivalent dazu sucht. Diess ist aber durchaus nicht der Fall. Nachdem ich die Augenmassgrösse in das Auge gefasst habe, muss ich die Augen schliessen, sonst weiss ich bei der getheilten oder zerstreuten Aufmerksamkeit das Tastäquivalent nicht dazu zu finden; und eben so schliesse ich die Augen bei der umgekehrten Richtung des Vergleiches, während ich die Zirkel auf die Haut setze.

Vorstehende 4 Versuchsabtheilungen sind nicht im Ganzen hinter einander angestellt, sondern an jedem Tage *in continuo* nur je 10 von jeder Abtheilung, also im Ganzen 40; nach Tagen wechselnd in der Folge der Abtheilungen I, II, III, IV, was mit → bezeichnet werde, und IV, III, II, I, was mit ← bezeichnet werde. Um den Grad der Uebereinstimmung der Reihe in sich zu beurtheilen, folgen hier die Mittel der *B*-Aequivalente zu den oben-

stehenden A-Distanzen aus den einzelnen successiven Fractionen à 10 Beobachtungen.

	Augenmass A		Tastmass A	
	10	5	10	5
	I	II	III	IV
→	8,56	6,28	12,15	3,28
←	9,03	6,15	15,31	3,55
→	8,77	6,48	13,69	2,41
←	8,73	5,35	13,35	3,50
→	8,61	6,08	12,52	2,38
←	8,17	5,61	14,12	3,82
→	8,19	5,66	13,53	3,00
←	8,56	5,66	13,26	3,13
→	9,12	6,02	13,14	3,35
←	8,08	5,13	13,66	3,60
Totalmittel	8,582	5,842	13,473	3,202

Man sieht, dass bei II und IV die Folge der Beobachtungen einen entschiedenen Einfluss hatte, indem ← bei II kleinere, bei IV grössere Werthe giebt, als →.

Nach den vorigen 4 Abtheilungen wurden jetzt 4 neue Abtheilungen in ganz entsprechender Weise, nur so angestellt, dass die Distanzen, welche in den vorigen als B im Totalmittel gefunden wurden, jetzt (unter Abrundung bis auf $\frac{1}{2}$ Einheit) als A dem Verfahren untergelegt wurden. So wurden, zusammengestellt mit den vorigen Resultaten, folgende in den 4 Abtheilungen V, VI, VII, VIII erhalten.

	Augenmass.		Tastmass.	Verhältniss.
I	A 10	=	B 8,582	1 : 0,8582
II	A 5	=	B 5,842	1,1684
III	B 13,473	=	A 10	0,7422
IV	B 3,202	=	A 5	1,5615
V	A 13,5	=	B 11,088	0,8213
VI	A 3,5	=	B 4,172	1,1918
VII	B 10,181	=	A 8,5	0,8349
VIII	B 3,915	=	A 5,5	1,4040

Die einzelnen Fractionen von V bis VIII gaben:

	Augenmass A		Tastmass B	
	= 13,5	= 3,5	= 8,5	= 5,5
	V	VI	VII	VIII
→	12,16	4,43	8,45	3,33
←	10,57	4,19	10,00	4,25
→	11,17	4,64	9,24	3,75
←	10,52	3,84	10,35	3,95
→	11,39	3,96	9,82	3,95
←	10,54	3,81	11,42	4,25
→	11,26	4,20	11,99	3,74
←	11,03	4,19	9,79	4,35
→	11,35	4,38	10,07	3,36
←	10,89	4,08	10,68	4,22
Mittel	11,088	4,172	10,181	3,915

Die Folge V, VI, VII, VIII gilt hier als →, die entgegengesetzte als ←. Wie man sieht, ist der Einfluss der Folge hier in allen 4 Abtheilungen merklich.

Ueberblickt man die Verhältnisszahlen der Tabelle der Resultate, so sieht man, dass die Abtheilungen, worin einander nahe A-Werthe der Augenmass- oder Tastgrösse enthalten sind, wie II und VI, IV und VIII, auch nahe zusammenstimmende Verhältnisszahlen geben, was geeignet sein kann, das Zutrauen in diese Art Versuche etwas zu erhöhen. Hingegen ist das Verhältniss zum Theil erheblich verschieden, je nachdem (merklich) dieselben Grössen als A oder B darin eingehen. I und VII zwar stimmen auch hiebei noch sehr gut, nicht so III und V, indem Augenmass B 13,475 äquivalent mit Tastmass A 10; Augenmass A 13,5 mit Tastmass B 11,088 ist; eben so wenig stimmen II und VIII. Aber auch wenn man im Tastgebiete für sich Aequivalenzversuche zwischen verschiedenen Hauttheilen anstellt, finden sich entsprechende Verschiedenheiten in der Grösse des Aequivalente je nach der Richtung des Vergleiches, wonach es immer nöthig ist, das Mittel zwischen einander nahen A- und B-Werthen zu nehmen. Diess ist in folgender Tabelle geschehen.

		Augenmass.		Tastmass.
III.	V.	13,487	=	10,544
I.	VII.	10,091	=	8,541
II.	VIII.	4,458	=	5,671
IV.	VI.	3,351	=	4,586

Die Tastgrössen steigen hienach viel langsamer auf, als die ihnen

äquivalenten Augenmassgrössen; jene überwiegen bei kleinen, diese bei grossen Distanzen im Aequivalente.

Wenn wir auf der Haut im Sinne von Weber's Auffassung die Distanz zweier Zirkelspitzen als eine Function der Zahl der zwischenliegenden Empfindungskreise schätzen, ohne dass doch diese Kreise selbst gereizt sind, und mithin, ohne dass sie bei der Empfindung selbst betheiligt scheinen, so ist der Grund von Weber selbst im Allgemeinen darin gesucht worden*), dass wir durch frühere Erfahrungen, wo dieselben gereizt wurden, eine sich später unbewusst geltend machende Kenntniss derselben erworben haben, und solche hienach in stillschweigender Erinnerung zwischen die gegenwärtig gereizten Puncte einschieben, indem wir den Abstand der gereizten nach der Menge der zwischenliegenden nicht gereizten, aber durch frühere Erfahrungen uns ihrem Dasein nach bekannten, beurtheilen.

»Setzen wir, es würden auf zwei benachbarte Empfindungskreise zwei Eindrücke hervorgebracht, so würden diese in einen Eindruck zusammenfliessen müssen; denn wir nähmen keinen Zwischenraum zwischen ihnen wahr. Um einen solchen wahrzunehmen, müsste wenigstens ein Empfindungskreis zwischen den berührten Empfindungskreisen liegen, auf dem wir daselbst den Eindruck vermissten, den wir sonst dort zu empfangen und zu empfinden gewohnt waren; denn gerade der Umstand, dass wir auf den Empfindungskreisen, welche zwischen zwei berührten Theilen der Haut liegen und auf den wir oft Eindrücke empfunden haben, einen Mangel der Empfindung wahrnehmen oder daselbst Empfindungen von anderer Art erhalten, erweckt in uns die Vorstellung von einem Zwischenraume.«

Hienach würden nicht gereizte Empfindungskreise fehlenden Empfindungskreisen bezüglich der Empfindungsleistung äquivalent sein, insofern nicht die frühere Reizung uns vom Dasein derselben eine Kunde gegeben, die uns bei der gegenwärtigen Distanzschätzung zu Statten kommt.

So consequent diese Ansicht auf die Grundvoraussetzung und die Thatsachen begründet erscheint, steht ihr doch eine wichtige Schwierigkeit entgegen. Die Zahl der Empfindungskreise in der zwischen den Zirkelspitzen gefassten Hautstrecke, die früheren Erfahrungen können dieselben bleiben, und doch die Ausdehnung, welche uns die Strecke zu haben scheint, sich ausnehmend ändern.

---

*) Berichte der sächs. Soc. 1852. 111.

Nach Chloroformirung oder Einnahme narkotischer Stoffe (Morphin, Atropin, Daturin) müssen die Zirkelspitzen ausserordentlich viel weiter gestellt werden, als sonst, um sie noch als distant zu empfinden, wie Lichtenfels und Fröhlich durch ausführliche und mehrfach abgeänderte Versuche gezeigt haben *). Volkmann hat mir mitgetheilt, dass nach schon früher von ihm angestellten Versuchen Erkältung der Haut denselben Erfolg habe, und Rüte, er habe bei einer Person, welche auf einer Seite des Gesichtes unvollständig gelähmt war, beobachtet, dass die Zirkelspitzen beträchtlich weiter auf dieser Seite entfernt werden mussten, um noch Distanzempfindung zu geben, als auf der gesunden Seite. Ausgedehntere Erfahrungen hierüber hat neuerdings Wundt in der S. 315 angeführten Abhandlung bekannt gemacht.

Ausserdem wirkt Uebung sehr stark abändernd ein, wie Versuche von Czermak, Volkmann und mir selbst**) übereinstimmend gezeigt haben, und zwar nach Volkmann's und eigenen Versuchen in der Art, dass nicht einmal das Verhältniss der Empfindlichkeit bei verschiedenen Hauttheilen nach gleicher Uebung unverändert bleibt.

Beim Gesichtssinne kommen nach Aetherisirung, im Haschischrausche, bei manchen Gehirnleiden ähnliche Phänomene vor, als beim Tastsinne, deren Grund freilich in etwaigen Veränderungen der Gestalt und Lage der brechenden Medien oder Accommodationsänderungen gesucht werden könnte, wenn ihnen nicht so analoge Phänomene beim Tastsinne zur Seite ständen, für welche jene, ohnehin nicht sehr wahrscheinliche, Erklärung nicht passen würde.

Panum, in seiner Abhandlung »die scheinbare Grösse der gesehenen Objecte« in Gräfe's Arch. f. Ophthalm. 1859. V. 1, führt (p. 16) namentlich folgende Thatsachen an: »Als ich vor etwa 10 Jahren einmal allein auf meinem Zimmer wegen einer unerträglich heftigen Neuralgie Aether inhalirte, machte ich eine Beobachtung, die mir unvergesslich geblieben ist, und über die ich oft vergeblich nachgedacht und Fachgenossen befragt habe. Ich fixirte nämlich, auf dem Bette liegend, ein an der Wand hängendes grosses Bild, und nachdem ich in den Armen und Beinen ein dem sogenannten Einschlafen der Glieder ähnliches prickelndes Gefühl gehabt, und bei möglichst starkem Kneipen meiner Finger fast gefühllos gefunden hatte, wurde das

*) Sitzungsber. d. Wien. Akad. VI. 1857. S. 338.

**) Abgesehen von den in Verbindung mit Volkmann angestellten, welche er in den Sitzungsber. der sächs. Soc. 1858. S. 38 bekannt gemacht hat, stehen mir darüber Erfahrungen nach der Methode der Aequivalente zu Gebote.

Bild scheinbar immer kleiner und schien dabei in eine grosse Ferne hinauszurücken. Als es ganz klein geworden war, verschwand es, indem mir Alles vor den Augen schwarz wurde und heftiges Ohrenbrausen eintrat. Ich hörte nun mit der Aetherinhalation auf und lag eine Weile regungs- und empfindungslos mit offenen Augen da; dann, als die Sinnesempfindung zurückkehrte, wurde auch sogleich das Bild wieder wahrgenommen, anfangs sehr klein und fern, dann näher kommend und grösser werdend, bis es, nachdem Empfindung und willkührliche Bewegung völlig zurückgekehrt waren, die gewöhnliche Grösse erreicht hatte ..... Ein befreundeter College, dem ich die angeführte Erscheinung mittheilte, versicherte, dass ihm dieselbe auch, und zwar in seinen Knabenjahren in der Kirche, vorgekommen sei, indem er, mit aller Anstrengung das Gefühl der Schläfrigkeit bekämpfend, und mit unverwandtem Blicke den Prediger anschauend, diesen immer kleiner werden und in weite Ferne hinausrücken sahe. Ein Anderer behauptete, in einem Typhus dieses Phänomen des Kleinerwerdens und des damit verbundenen in die Fernerückens angestarrter Objecte gehabt zu haben; und endlich erfahre ich, dass diese Erscheinung in der Psychiatrie sehr wohl bekannt ist und gar nicht selten von Personen, die an Gehirnaffectionen leiden, mit sehr grosser Bestimmtheit angegeben wird. Im Haschischrausche soll sie überdiess constant sein.«

Insofern diese Thatsachen sich nicht ungezwungen der Auffassung Weber's unterordnen lassen dürften, bin ich geneigt, sie unter Mitbezugnahme auf die Verhältnisse der extensiven Gesichtswahrnehmung unter folgenden Gesichtspunct zu fassen.

Auch ohne äussere Reizung bei geschlossenen Augen gewährt uns unsere Netzhaut die extensive Empfindung des schwarzen Gesichtsfeldes, was darauf beruht, dass sämmtliche Empfindungskreise derselben durch schwache innere Erregung immer von selbst über der Schwelle sind, nur dass es, eben wie auch bei jeder durch einen schwachen äusseren Reiz bewirkten Empfindung erst einer besonderen Richtung der Aufmerksamkeit bedarf, diese Empfindung zum Bewusstsein zu bringen. Also schätzen wir hier die Distanz zwischen irgend welchen zwei Puncten der Netzhaut nicht nach der Zahl zwischenbefindlicher nicht gereizter, ihrem Dasein nach nur durch frühere Erfahrungen bekannter, Puncte, sondern nach der Zahl innerlich erregter und vermöge dessen eine Empfindungsleistung gewährender Puncte, und würden, wenn ein Theil dieser Puncte gelähmt würde, eine geringere Distanz erblicken, trotzdem, dass die früheren Erfahrungen dieselben bleiben.

Meines Erachtens nun verhält es sich entsprechend mit dem Distanzgefühle der Haut, nur dass die Hautnervenfasern normaler-

weise nicht immer in eben solcher Vollständigkeit durch innere Erregung über die Schwelle gehoben sind, als die Gesichtsnervenfasern, sondern durch mancherlei Umstände darüber gehoben werden und darunter sinken können.

In der That ist sicher immer ein Theil der Hautnerven, welche zwischen zwei Zirkelspitzen gefasst werden, trotzdem, dass sie nicht ebenfalls berührt werden, in der Art erregt, dass wir vom Dasein und der Zahl der actuell erregten das Ausdehnungs- und Distanzgefühl ohne Rücksichtsnahme auf frühere Erfahrungen abhängig machen können. So, wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf diesen oder jenen Theil der Haut richten, fühlen wir daselbst nicht nur meist Wärme oder Kälte, sondern haben auch abgesehen davon ein Gefühl, welches uns von dem Dasein und der Ausdehnung des Theiles eine gewisse directe Kunde giebt, nur dass das Gefühl dieser Ausdehnung bei Weitem nicht so bestimmt wie im Auge ist; wir können von keiner so bestimmten und festen Erscheinung eines Tastfeldes wie Gesichtsfeldes sprechen. Vielleicht aber wird man am leichtesten zugestehen, dass auf dieses Gefühl doch überhaupt etwas zu geben, und dass es nicht sowohl von früheren Erfahrungen als gegenwärtiger Erregung der Tastnerven abhängt, wenn man sich des Unterschiedes erinnert, den der Zustand der Taubheit der Haut bei Druck auf einen Hautnervenstamm von dem gewöhnlichen Zustande darbietet — bekanntlich nämlich erscheint uns ein Arm, dessen Nerv gedrückt ist, wie ein ganz fremder Körper, — und so sehr wir die Aufmerksamkeit darauf richten mögen, es wird nicht gelingen, dasselbe Gefühl seines Daseins und Umfanges zu reproduciren, was wir sonst dadurch zu erwecken vermögen.

Von nicht geringem Interesse scheint mir in Bezug hierauf auch das Gefühl körperloser, ja so zu sagen raumloser, Existenz, welches sehr allgemein als Erfolg des Aetherisirens angeführt wird, sofern das Hautgefühl, was uns hauptsächlich von dem Dasein unseres Körpers Kunde giebt, durch die Einwirkung des Aethers leicht unter die Schwelle herabgedrückt werden kann, obwohl unstreitig auch der Verlust des Muskelgefühles, was uns die Schwere unseres Körpers empfinden lässt, hiezu beiträgt, wie denn beide Empfindungen überhaupt meist zusammenwirken. Sollten wir im gewöhnlichen Zustande gar keine Empfindung von der Existenz unseres Körpers durch Haut- und Muskelgefühl haben,

so könnte natürlich durch das Aetherisiren auch keine verloren gehen; dass sie aber dadurch verloren gehen kann, beweist von anderer Seite eben so wie der Erfolg des Druckes auf einen Hautnerven die Variabilität dieses Gefühles je nach dem Zustande, in dem sich die Nerven finden.

So schreibt Granier de Cassagnac*) von der Wirkung des Aetherisirens: »Es war mir, als ob alles Aeussere verschwände; ich fühlte nicht mehr das Flacon in meiner Hand, bemerkte kaum, dass ich Kleider am Leibe hatte, und der Boden, auf welchem ich stand, schien mir seine ursprüngliche Realität verloren zu haben.... die äussere und materielle Welt ist nicht mehr vorhanden. Wenn man sitzt, fühlt man nicht mehr den Stuhl, und wenn man liegt, nicht mehr das Bett unter sich; man glaubt förmlich in der Luft zu schweben.« — Ein anderer Beobachter**) giebt an: »Ich empfand von der Aussenwelt überhaupt, ja von meinem eigenen Körper nichts mehr. Die Seele war gleichsam ganz isolirt und getrennt von dem Körper.« — Dr. Bergson***) giebt an: »Die Eigenschwere der Glieder verschwindet und man glaubt in der That in der Luft zu schweben.... Im Tastsinne tritt ein Gefühl von Einschlummern der Hautnerven auf, und dieses steigert sich uner prickelnder Empfindung nach und nach bis zu dem Grade, dass starkes Drücken auf die Haut der Hand, Kneipen, Stechen, Brennen gar nicht mehr empfunden wird.« — Aehnliches wird von der Einwirkung anderer Narkotika berichtet. So schreibt Madden (Fror. Not. XXVI. S. 14) von der Wirkung eines Opiumrausches: »Im Gehen bemerkte ich kaum, dass meine Füsse die Erde berührten; es war mir, als glitte ich, von einer unsichtbaren Kraft getrieben, die Strasse entlang, und als ob mein Blut aus irgend einem ätherischen Fluidum bestände, das meinen Körper leichter machte, als die Luft.« — Ein anderer Beobachter sagt von der Wirkung des Haschisch †): »Die hervorgerufenen Sensationen waren eine so ausserordentliche Leichtigkeit, so zu sagen Luftigkeit,«.... und weiter: »die Limitationsempfindung (das Gefühl der Begränzung innerhalb der Schranken von Fleisch und Blut) fiel augenblicklich weg. Die Mauern des organischen Leibes barsten und stürzten in Trümmer, und ohne zu wissen, welche Gestalt ich trug, da ich das Gesicht, ja jede Vorstellung von Form verlor, fühlte ich nur, dass ich mich zu einem unermesslichen Raumumfange ausgedehnt habe ††)« u. s. w.

Aehnlich als das Einathmen einschläfernder Substanzen scheint die natürliche Annäherung des Schlafes zu wirken. »Das leibliche Gefühl, — sagt

---

*) Hamb. lit. u. krit. Bl. 1847. Nr. 13.

**) Pfeufer, Zeitschr. 1847. Bd. VI. S. 79.

***) Mag. für Lit. des Ausl. 1847. März.

†) Mag. für Lit. des Ausl. 1854. Nr. 72.

††) Unstreitig ist die Empfindung einer Ausdehnung ins Unbestimmte ohne Gestalt und Begränzung weniger als eine Steigerung, denn als ein Verlust des Gefühles räumlicher Bestimmtheit zu fassen. F.

Purkinje*) — besonders das der Haut, verliert (beim Einschlafen) allmälig die Empfindlichkeit für die mittleren Wärme- und Kältegrade; auch der Druck der Umgebung wird nicht mehr empfunden. Der Körper scheint auf der Unterlage mehr zu schweben, als darauf zu lasten. Oft geschieht es dann, dass, wenn durch plötzliche Weckung das Gefühl in die gedrückten Hautstellen wieder einschiesst, es scheint, wie wenn wir aus dem Zustande des Schwebens mit einemmale auf harten Boden gefallen wären, eine Erfahrung, die wohl die meisten beim ersten Einschlafen werden gemacht haben.«

Interessant ist es, mit der Wirkung der Narkotika die sehr anders geartete des Strychnins zu vergleichen. Während Lichtenfels von Morphin, Atropin, Daturin die auffallendste Verminderung der extensiven Empfindlichkeit erfuhr, so war dagegen die Verminderung nach dem Gebrauche von Strychnin, obwohl bestimmt angebbar und merklich, doch im Verhältnisse zu jenen Stoffen nur gering. Es zeigte sich aber, dass derselbe Druck, welcher sonst nur eine matte Empfindung erzeugte, nach Strychnin-Einnahme eine sehr helle und bestimmte hervorruft, dass die Qualität der Empfindung verändert wird und die Dauer der Nachempfindung auffallend gross ist. — »Wenn man im normalen Zustande den Knopf des Tasterzirkeis zuerst an die Haut des Armes und dann an die Zunge andrückt, so erscheint die erstere Empfindung matt, die letztere sehr scharf und begränzt, aber gerade so hell wird durch Strychnin die Empfindung an der Haut des Armes, gleichsam als wäre die Dichtigkeit des wirksamen Agens vermehrt.« (Wien. Sitzungsber. 1851. VI. S. 345. 352.)

Man kann sich nun leicht denken, dass der Einfluss der Lähmung, der narkotischen Substanzen, der Aetherisirung und Chloroformirung dahin geht, die Empfindung einer Anzahl Empfindungskreise unter die Schwelle herabzudrücken, und hiedurch denselben Erfolg hervorzubringen, als wenn eine Anzahl dieser Empfindungskreise ganz fehlte oder abstürbe; ja fast scheint diese Auffassung nothwendig, wenn man in Rücksicht zieht, dass Absterben blos der grösste Grad der Lähmung und das tiefste Sinken unter die Schwelle ist.

Hiemit würde sich zugleich erklären, dass wir die kleinste Verrückung einer Zirkelspitze an Theilen, wie dem Oberarme, erkennen, wo zwei Zirkelspitzen, zugleich aufgesetzt, einen beträchtlichen Abstand fodern, um überhaupt als distant zu erscheinen. Indem wir eine Zirkelspitze durch eine gegebene Distanz hindurchführen, erheben wir successiv alle zwischenbefindlichen Empfindungskreise durch die eintretende Reizung über die Schwelle, indess in derselben Distanz, wenn sie zwischen zwei ruhende Zir-

---

*) Wachen, Schlaf und Traum in Wagner's Wört. S. 420.

kelspitzen gefasst wird, ein grosser Theil der ungereizten Empfindungskreise unter der Schwelle bleibt.

So gut aber diese Erklärung zu den bisher besprochenen Thatsachen passt, giebt es doch eine Thatsache, die ihr direct zu widersprechen scheint, und von der ich gestehe, dass sie mich lange in Verlegenheit gesetzt hat; wie ich denn ihre Erklärung nur auf einen, bis jetzt hypothetischen, Gesichtspunct zu stützen wüsste, der zwar, wie man schliesslich sehen wird, mit dem vorigen in sehr natürlichen Zusammenhang tritt, von dem man aber allerdings wünschen kann, dass er noch von anderer Seite als durch das Bedürfniss dieser Erklärung gestützt wäre.

Volkmann hat die Bemerkung gemacht, und ich finde sie bestätigt, dass eine auf einen Hauttheil aufgesetzte Kante von gegebener Länge nach unmittelbarer Beurtheilung wie nach der Methode der Aequivalente nicht nur nicht grösser, sondern sogar etwas kleiner erscheint, als die dieser Länge entsprechende Distanz zweier Zirkelspitzen auf demselben Hauttheil, ungeachtet doch durch den Reiz des Druckes der vollen Kante mehr Empfindungskreise über die Schwelle gehoben werden sollten, als in der leeren Zirkeldistanz sich darüber finden. Auch der Kältereiz vergrössert bemerktermassen nicht, sondern verkleinert die extensive Empfindung.

Um diese Angaben mit einigen Zahlen zu begleiten, stellte ich so eben eine kleine Versuchsreihe deshalb an. Eine 8 par. Lin. messende, aus einer starken Visitenkarte geschnittene, Kante, auf das Vorderglied des Zeigefingers (auf der Volarseite der Länge des Gliedes nach, mit dem hinteren Ende in die Gelenkfuge) aufgesetzt, erschien in 5 Versuchen (ohne Zuziehung des Auges) äquivalent mit folgenden Zirkeldistanzen:

7,5; 7,3; 6,9; 7,0; 7,2 Linien.
Mittel 7,18.

Aehnliche Verhältnisse habe ich zu anderen Zeiten auf dem Finger wiedergefunden.

Auch auf dem Oberarme habe ich mit Kantenlängen von 25 bis 30 Linien zu verschiedenen Zeiten dergleichen Versuche angestellt und stets kleinere Zirkeldistanzen denselben äquivalent gefunden; nur schwankte das Verhältniss sehr bei Versuchen an verschiedenen Tagen, wie mir denn der Vergleich der vollen mit der leeren Distanz durch das Gefühl hier viel schwieriger er-

scheint, als auf dem Finger. Im Ganzen würde ich geneigt sein, theils nach directem Vergleiche, theils nach der Methode der Aequivalente den Vortheil scheinbarer Grösse für die leere Zirkeldistanz gegen die volle Kantenlänge auf dem Arme noch grösser, als auf dem Finger zu finden, jedenfalls nicht geringer. Um ein sicheres und allgemeingültiges Resultat in dieser Hinsicht zu erhalten, würden aber erst unabhängige Versuche an einer Mehrzahl von Individuen nöthig sein.

Der Gesichtspunct, den ich zur Erklärung aufstelle, ist nun dieser:

Dächten wir uns, dass die Tastnervenfasern, welche gesonderte Empfindungen vermitteln, im Gehirne oder an einer Stelle vor dem Gehirne eben so confluirten, als die einen gemeinsamen Empfindungskreis bildenden Zweige derselben Faser, so würden auch ihre Thätigkeiten und die davon abhängigen Empfindungen confluiren, und eine gemeinsame Erhebung vieler solcher Fasern über die Schwelle nur eine grosse Intensität, nicht Extension der Tastempfindung mitführen können, eben wie es von den Zweigen eines und desselben Empfindungskreises gilt. Unstreitig haben wir also vorauszusetzen, dass die Thätigkeiten der discret empfindenden Fasern sich zwischen ihnen (durch ihre Verbindungsglieder im Gehirne) nicht in derselben Continuität forterstrecken, als in ihnen und ihren Zweigen, sondern zwischen ihnen sei es fehlen oder unter die Schwelle sinken, und hiedurch eine Scheide der Empfindung begründen; denn sonst wäre kein Grund, warum nicht die verschiedenen Fasern ein gleich einfaches Empfindungsresultat geben sollten, als Zweige eines und desselben Empfindungskreises; sie stellten hiemit eben nur einen solchen dar.

Nun kann man sich aber leicht denken, dass, wenn der Druck einer Kante oder der Temperaturreiz auf einen Tract der Haut wirkt, die Steigerung der psychophysischen Thätigkeit nicht blos auf die Tastnerven und ihre centralen Endigungen beschränkt bleibt, sondern sich auch auf deren Verbindungen unter einander im Gehirne erstreckt und einen Theil derselben mit über die Schwelle hebt, so dass die vorher discreten Nervenfasern nun theilweise mit Thätigkeiten oberhalb der Schwelle confluiren und dadurch Zweigen eines und desselben Empfindungskreises äquivalent werden.

Schon sonst ist hinreichend bekannt, dass ein Empfindungsreiz, nach Massgabe als er stärker ist, Reflexbewegungen in grösserem Umfange auszulösen vermag, was voraussetzt, dass die Nerventhätigkeit sich von einem Empfindungsnerven zu einem Bewegungsnerven durch die zwischen beiden in den Centralorganen bestehenden Verbindungen fortzuerstrecken vermag, und zwar nach Massgabe der Stärke des Reizes und anderen Umständen so, dass einmal eine merkliche Anregung des Bewegungsnerven dadurch stattfindet, anderemale nicht. Das Entsprechende, was man nach den Thatsachen des Reflexes und zur Erklärung derselben bezüglich der Empfindungsnerven und Bewegungsnerven anzunehmen nöthig findet, wird man nun blos nöthig haben, zur Erklärung der Thatsachen, um die es sich hier handelt, auch bezüglich der Nervenfasern, die in demselben Tastnerven beisammenliegen, anzunehmen, was um so weniger Schwierigkeit haben kann, als die anatomische Verbindung dieser Fasern unstreitig eine engere ist, als die zwischen zwei verschiedenartigen Nerven.

Natürlich wird sich die durch den Reiz auslösbare Thätigkeit überall nur in einer gewissen Solidarität in den Nerven und deren Verbindungsgliedern im Gehirne ändern können, und darum diese und die vorige Erklärung überhaupt nicht streng auseinander zu halten sein. Ohne uns nun hier in weite Ausführungen einlassen zu wollen, ist doch denkbar, dass die Thätigkeit bei Abänderung des Reizes in stärkerem Verhältnisse in den Nerven als deren Verbindungsgliedern steigt und sinkt, und unter Umständen selbst in ersteren auf Kosten der letzteren steigen, oder zum Vortheile derselben sinken kann. Und so könnte die Uebung bei Tastversuchen mitführen, dass manche Tastnervenfasern mit ihren centralen Endigungen über die Schwelle treten, indess zugleich mehr Verbindungen unter die Schwelle sinken; wie denn auch der Einfluss der Uebung bei mechanischen Bewegungsfertigkeiten zugleich dahin geht, die Muskeln zu kräftigen, und die einzelnen Partien derselben gesonderter bewegen zu lassen, sicher nicht ohne einen Miteinfluss auf die Nerven. Auf die eine oder andere Weise aber wird der Einfluss der Uebung das Distanzmass nur bis zu einem gewissen Maximum vergrössern können; denn, wenn alle Empfindungskreise über die Schwelle erhoben sind, oder alle im Gehirne geschieden sind, so muss das Maximum erreicht sein. In der That hat sich ein solches Maximum bei den von Volk-

mann und mir in Verbindung angestellten Uebungsversuchen, welche oben erwähnt wurden, übereinstimmend und mit Entschiedenheit herausgestellt.

Es giebt noch einige Thatsachen, die mit unseren Ansichten in Beziehung gesetzt werden können, und von einer Seite sehr gut in dieselben hineintreten, indess sie von anderer Seite geeignet sein könnten, Zweifel dagegen zu erwecken, sofern sie, wenn auch nicht in bestimmtem Widerspruch damit, sich denselben bisher noch nicht ungezwungen unterordnen lassen.

Wie oben bemerkt, wird die Bewegung einer Zirkelspitze auf dem Arme als eine Fortrückung empfunden, wenn sie auch nur ganz wenig beträgt, indess eine viel beträchtlichere Distanz der ruhend aufgesetzten Zirkelspitzen auf dem Arme nicht als Distanz empfunden wird. Diess liess sich darauf schieben, dass der Reiz der Zirkelspitze jeden Empfindungskreis, den er trifft, über die Schwelle hebt, indess in der Distanz zwischen den ruhenden Spitzen viele Empfindungskreise unter der Schwelle bleiben. Ist aber dem so, so muss der Vortheil der bewegten Spitze vor der ruhenden Distanz bezüglich der dadurch erzeugten extensiven Empfindungsgrösse auf solchen Theilen schwinden, wo alle Empfindungskreise über der Schwelle sind, und jedenfalls geringer auf den Theilen von grösserer extensiver Empfindlichkeit als auf denen von geringerer sein. Diess ist nun wirklich ganz entschieden der Fall; nur überschreitet das Resultat des Versuches so zu sagen das Ziel, indem zwar nicht die Mehrzahl, aber doch nicht wenige Personen, darunter ich selbst, die scheinbare Grösse einer von der Zirkelspitze durchlaufenen Distanz auf dem Finger sogar entschieden kleiner finden, als dieselbe Distanz zwischen ruhende Zirkelspitzen gefasst, wofür es schwer ist, eine Erklärung zu finden. Bevor ich auf die Discussion dieses seltsamen Resultates eingehe, führe ich das Thatsächliche an.

Um den Versuch anzustellen, setze ich an mir selbst oder an einer anderen Person*) die eine Zirkelspitze in die Gelenkfuge zwischen dem Vordergliede und Mittelgliede des Zeigefingers (Vo–

*) Bei mehrfachen Versuchen habe ich gefunden, dess es keinen Unterschied macht, ob man den Versuch an sich selbst anstellt, oder von einem Anderen an sich anstellen lässt.

larseite) und die andere etwa 9 bis 10 par. Linien nach vorn*), achte auf das Distanzgefühl, hebe dann die Spitze, welche in der Gelenkfuge steht, und fahre mit der anderen Spitze, immer ohne Zuziehung der Augen, bis zur Gelenkfuge herab.

Dieser Weg der bewegten Spitze nun, er heisse kürzlich *b*, erscheint mir so zu sagen unbegreiflich kürzer als die Distanz zwischen den ruhenden Spitzen, welche *r* heissen.

Ich wiederholte den Versuch sofort an einer anderen Person, natürlich, wie bei allen späteren Prüfungen an Anderen, ohne die zu erwartende Richtung des Resultates anzugeben. Sie erklärte nach einigen Wiederholungen ganz unbefangen, dass ihr *b* etwa halb so lang als *r* erscheine, womit mein eignes Gefühl sehr gut übereinstimmt; und merkwürdigerweise äusserten Hankel und Volkmann unabhängig von einander sich eben so; es komme ihnen *b* etwa halb so lang vor als *r*.

Hienach und nach Proben an noch mehreren anderen Personen kann kein Zweifel sein, dass wirklich *b* viel kleiner als *r* erscheinen kann. Nur ist das Resultat keineswegs allgemein. Ich habe im Ganzen 28 Personen, mich selbst eingeschlossen, geprüft, von welchen 17 gar keinen deutlichen Unterschied zwischen *b* und *r* finden konnten; 10 fanden *b* kürzer als *r* und zwar die Mehrzahl sehr entschieden kürzer; 1 fand umgekehrt *b* anfangs entschieden länger als *r*, doch bei Wiederholung des Versuchs glich sich das Gefühl für beide allmälig aus. Eben so sagt mir Volkmann, der selbst (bei rascher Bewegung) sehr entschieden *b* kürzer als *r* fand, dass vier andere Personen, mit denen er den Versuch anstellte, keinen Unterschied hätten finden können, indess der, zufällig anwesende, Prof. Dubois denselben wie er selbst fand. Diess zusammengenommen, so hätten von 34 Personen 12 *b* kürzer als *r* gefunden, 21 keinen deutlichen Unterschied, 1 (anfangs) *b* länger als *r*.

Ich selbst habe an mir keinen entschiedenen Einfluss auf den Erfolg des Versuches bemerken können, je nachdem ich die Zir-

*) Man kann auch andere Finger und grössere Längen des Fingers zum Versuche anwenden, indem man z. B. die hintere Spitze in die Fuge zwischen dem zweiten und hintersten Gliede, die andere auf die Kuppe des Vordergliedes aufsetzt. Ich finde auch hier den Längenunterschied je nach der obigen Versuchsweise beträchtlich.

kelspitzen mit stärkerem oder schwächerem Drucke oder mit schnellerem oder langsamerem Zuge führte. Doch scheint bei Anderen die Geschwindigkeit einen Unterschied zu machen.*) Das Resultat hat sich bei mir zu verschiedenen Zeiten immer constant in derselben Richtung wiedergefunden, und jedesmal deutlich gleich beim ersten Versuche; doch hat es mir mehrmals geschienen, als ob einige Wiederholung den scheinbaren Unterschied zwischen *b* und *r* noch steigere; und wahrscheinlich findet ein gewisser Einfluss der Wiederholung wirklich statt, da ich auch bei einigen anderen Personen eine entschiedene Aussage über einen stattfindenden Unterschied erst nach einiger Wiederholung und in einem (obenbemerkten) Falle sogar anfangs die entgegengesetzte Aussage erhielt.

Ich habe ferner versucht, ob die einfache Zirkelspitze von der Gelenkfuge nach der Fingerkuppe aufwärts geführt einen längeren Weg zu beschreiben schiene, als in umgekehrter Richtung dieselbe Strecke abwärts geführt. Die Mehrzahl der Personen fand keinen deutlichen Unterschied, die aber einen solchen fanden, gaben (in von einander unabhängigen Versuchen) ausnahmlos an, dass ihnen der Weg von der Fuge aufwärts länger erscheine, als nach der Fuge abwärts, darunter mehrere, die keinen deutlichen Unterschied zwischen *b* und *r* fanden. Unter den 28 Personen, die ich dem vorigen Versuche unterwarf, von denen jedoch mehrere diesen zweiten Versuch nicht angestellt haben, haben ebenfalls 10 jenen Unterschied gefunden, so dass doch auch hiebei nicht blosser Zufall stattzufinden scheint.

Endlich stellte ich Versuche folgender Art an: Ich gab einem Zirkel, dessen Spitzen durch Wachs- oder Siegellackkügelchen

---

*) Volkmann schreibt mir: »Ich empfinde die Zirkeldistanz wirklich grösser, als die gestrichene Hautstelle von gleicher Ausdehnung. Der Unterschied ist gar nicht weit vom Duplum entfernt. Ob die Geschwindigkeit des Streichens einen Einfluss habe, will ich nicht mit Bestimmtheit behaupten, doch scheint es mir so. Es kommt mir nämlich vor, als ob schnelles Streichen den Unterschied steigere, oder mit anderen Worten, dass bei langsamerem Streichen die in Vergleich gestellten Dimensionen sich ziemlich gleich gross ausnehmen.« Dubois fand den Einfluss der Geschwindigkeit in demselben Sinne als Volkmann.

abgestumpft waren*), eine grosse Spannweite, liess durch eine andere Person denselben mit einem Ende auf meinen Zeige- oder Mittelfinger, mit dem anderen auf den Unterarm aufsetzen, und nun nach der Längsrichtung des Fingers und Armes so hin- und herführen, dass das eine Ende sich auf dem Finger, das andere auf dem Arme mit derselben Geschwindigkeit bewegte. Da die Nervendichtigkeit der Fingerhaut grösser als die der Armhaut ist, so hätte man meinen sollen, der auf dem Finger durchlaufene Raum oder die Geschwindigkeit der Bewegung auf dem Finger müsste entschieden grösser als auf dem Arme erschienen sein. Aber ich habe in mehrmals wiederholten Versuchen, sowohl die ich von Anderen an mir anstellen liess, als selbst an anderen Personen anstellte, nichts Entschiedenes finden können. Manchmal schien mir die eine, andermal die andere Spitze sich schneller zu bewegen, oder den grösseren Raum zu durchlaufen, und auch von den anderen Personen erhielt ich theils schwankende, theils geradezu sich widersprechende Aussagen. Der scheinbare Erfolg scheint hier hauptsächlich von der Einbildung abhängig.**)

Versucht man, sich Rechenschaft von dem Ausfalle voriger Versuche zu geben, so kann man es zuvörderst als möglich halten, dass die Combination der von der Zirkelspitze durchlaufenen Puncte in der Erinnerung principiell ein anderes Resultat scheinbarer Extension giebt, als die Zusammenfassung der gleichzeitig zwischen die ruhenden Zirkelspitzen gefassten Puncte, und es ist in der That *a priori* nicht zu behaupten, dass eine Uebereinstimmung beider Fälle im Resultate stattfinde. Nur würde es schwer sein, den so verschiedenen Ausfall dieser Versuche bei verschiedenen Individuen damit zu vereinbaren, und es scheint nicht, dass beim Auge eine solche Verschiedenheit sich geltend macht.

Ich gestehe also offen, dass ich eine sichere Erklärung für diese Verhältnisse nicht habe. Inzwischen liesse sich vielleicht

---

*) Zu vorigen Versuchen wurden sie unabgestumpft angewendet; bei dem jetzigen aber ist keine glatte Führung der Spitzen ohne obige Massregel zu erzielen.

**) Dieser Versuch tritt mit Fragen in Beziehung, welche Czermak in einer kleinen Abhandlung »Ideen zu einer Lehre vom Zeitsinne« in den Sitzungsberichten d. Wien. Akad. 1857. April veröffentlicht hat, ohne dass er jedoch etwas zur Aufklärung derselben beizutragen vermag.

ein Erklärungsversuch an folgenden bis jetzt freilich noch ganz fraglichen Punct knüpfen.

Gesetzt, man hat in einer gegebenen Hautstrecke *a h* eine Reihe Empfindungskreise

a b c d e f g h

Jeder gehöre einer isolirten Tastnervenfaser an, welche sich mit ihrer Thätigkeit oberhalb der Schwelle findet. Werden nun alle nach der Reihe von der Zirkelspitze durchlaufen, ohne dabei mit ihren Thätigkeiten zu confluiren, so wird, wie sich diess bei vielen Personen gezeigt hat, *a h* eben so gross erscheinen können, als zwischen die ruhenden Spitzen gefasst, weil die Zahl der discret empfindenden Fasern sich dabei weder vermehrt noch vermindert. Gesetzt aber, durch den Reiz der Zirkelspitze confluirten von den vorher isolirten Puncten jedesmal mehrere, z. B. drei, zum Aequivalent eines Empfindungskreises nach dem oben (S. 329) erörterten Principe, also successiv *a b c*, *bcd*, *cde* . . . im Fortschritt der Spitze von *a* zu *b* und *c*, so fragt sich, ob die ganze Distanz *a h* hiebei noch eben so gross erscheinen kann, als wenn die Puncte *a*, *b*, *c* als isolirte durchlaufen werden oder so zwischen den ruhenden Zirkelspitzen bestehen. Diess scheint mir bis jetzt nicht sicher *a priori* entscheidbar oder durch Erfahrung entschieden. Sollte *a h* auf diesem Wege kleiner erscheinen können, so würde der Erfolg des Versuches bei denen, welche *b* kleiner als *r* finden, dadurch erklärbar sein. Aber man sollte freilich erwarten, dass die Verstärkung des Druckes beim Versuche dann einen Einfluss äusserte, den ich doch nicht constatiren kann. Unstreitig zwar sind von vorn herein nicht alle Puncte *a*, *b*, *c* . . . über der Schwelle, sondern ein Theil derselben wird erst durch die Zirkelspitze darüber gehoben, und so kann sich die Wirkung eines stärkeren Druckes in dieser Hinsicht mit der des vermehrten Confluxes in gewisser Weise compensiren; doch haftet immer noch viel Zweifel an der Erklärung. Der Einfluss der gegensätzlichen Richtung der Bewegung mag wohl, wo er sich gezeigt hat, an irgend einem Nebenumstande liegen, und weniger Gewicht darauf zu legen sein.

Von fundamentaler Wichtigkeit ist folgende früher schon mehrfach berührte, bis hieher verschobene, Frage:

Hängt die Grösse der extensiven Empfindung nach gleicher Function von der Zahl der in Anspruch genommenen thätigen Empfindungskreise ab, als die Grösse der intensiven Empfindung von der Grösse des Reizes?

Mit anderen Worten, gilt in dieser Hinsicht das Weber'sche Gesetz und sind unsere hierauf gestützten bisherigen Formeln auf die extensive Empfindung anwendbar, sofern wir Zahl der thätigen Empfindungskreise für Grösse des Reizes darin substituiren?

Die im 9. Kapitel angeführten Versuche haben gezeigt, dass das Weber'sche Gesetz sich beim Augenmasse für den Versuch bestätigt; es ist aber auch gezeigt worden, dass diese Bestätigung für die Entscheidung unserer Grundfrage nichts bedeutet, weil die Versuche unter Einfluss der Augenbewegung ausgeführt sind; ja ihre wahre Bedeutung ist bis jetzt noch nicht aufgeklärt. Eben da ist angeführt worden, dass das Weber'sche Gesetz beim Tastmasse sich für den Versuch n i c h t bestätigt; im folgenden Kapitel werde ich die Versuche dazu anführen, und diese Versuche scheinen massgebender zu sein, weil Bewegung hiebei nicht ins Spiel kommt.

In der That trifft die, auf das Weber'sche Gesetz gestützte, Massformel bezüglich der extensiven Empfindung nicht zu. Grosse Linien müssten uns nach dieser Formel in einem logarithmischen Verhältnisse gegen kleinere verkürzt erscheinen; aber eine doppelt so lange Linie wird auch von einem guten Augenmasse als doppelt so lang taxirt, und diess ist selbst noch im Nachbilde bei geschlossenen Augen der Fall, wo Bewegungen das Urtheil nicht mitbestimmen können.

Inzwischen lehrt eine gründlichere Betrachtung, dass, wenn wirklich die Zahl der Empfindungskreise bei extensiven Empfindungen die Stärke des Reizes bei intensiven vertreten sollte, ein kleinerer und grösserer Reiz nicht durch einen kleineren und grösseren T h e i l der Ausdehnung der Netzhaut, sondern nur durch eine kleinere und grössere g a n z e N e t z h a u t vertreten werden könnte, die wir aber in unseren Versuchen nicht herstellen können, so dass die Beobachtungen, auf die wir Bezug genommen, überhaupt ungeeignet sind, die Frage gründlich zu entscheiden, da sie immer nur auf kleinere und grössere Theile der Netzhaut und Haut gehen. Des Näheren nämlich stellt es sich so damit:

Die Totalität der thätigen Empfindungskreise unserer Netzhaut wird unter Voraussetzung, dass ihre Zahl für die extensive Grösse der Empfindung dieselbe Bedeutung hat, als die Stärke des Reizes für die Intensität, eine gewisse Ausdehnung für die Empfindung, ein scheinbares Gesichtsfeld von gewisser Grösse repräsentiren. Wenn diese Totalität, gleichviel welche Zahl Empfindungskreise befassend, um einen gegebenen Verhältnisstheil vermehrt würde, so würde nach dem Weber'schen Gesetze, im Falle seiner Anwendbarkeit, das scheinbare Gesichtsfeld um gleich viel wachsen, und zwei Netzhäute von der Grösse n und na würden bei gleicher Nervendichtigkeit scheinbare Gesichtfelder haben, die sich wie $\log a$ und $\log na$ verhalten, wenn die Zahl der Empfindungskreise, bei der überhaupt die Ausdehnung merklich zu werden beginnt, $= 1$ gesetzt wird. Ziehen wir aber nur Theile der einmal gegebenen Netzhaut gegen einander in Betracht, wie es bei allen unseren Versuchen der Fall ist, sofern alle Längen und Distanzen nur in der einmal gegebenen, nicht willkührlich abzuändernden, Netzhaut abgegränzt sind, so ist es bezüglich der extensiven Empfindung dasselbe, als bezüglich der intensiven, wenn wir einen Bruchtheil der Intensität eines Reizes gegen den anderen in Betracht ziehen. Da leistet jeder gleich viel mit dem anderen. Der $n$te Theil der Netzhaut wird dann den $n$ten Theil des ganzen Gesichtsfeldes repräsentiren müssen, und ein n mal so grosser einen n mal so grossen Theil des Gesichtsfeldes, nach dem ganz einfachen Principe, dass die Summe der Theile dem Ganzen gleich ist.

In der That, nehmen wir einmal an, ein kleiner Theil der Netzhaut werde verhältnissmässig grösser empfunden, als die ganze Netzhaut, wie ein schwacher Lichtreiz nach der Massformel verhältnissmässig stärker empfunden wird, als ein starker, so würde durch die Summation dieser scheinbaren Ausdehnungen der Theile eine grössere scheinbare Ausdehnung herauskommen, als für die ganze Netzhaut, was sich widerspricht. Wenn nun aber doch ein schwacher Lichtreiz nach der Massformel verhältnissmässig stärker empfunden wird, als ein starker, so rührt diess daher und ist nur insofern der Fall, als der schwache nicht Theil eines starken ist, sondern neben ihm oder nach ihm einwirkt. Insofern aber ein schwacher Lichtreiz Theil eines starken, im selben Raum- und Zeitpuncte einwirkenden, Lichtreizes ist, kommt ihm auch keine grössere Wirkung auf die Empfindung

zu, als den übrigen schwachen Theilen, und steht diese also in Proportion zu der Grösse, die er von dem ganzen Lichtreize bildet. Ganz entsprechend bei der Auffassung der extensiven Grösse der Netzhaut, als hier bei der intensiven Grösse des Reizes.

Eine entsprechende Betrachtung würde auf das Ausdehnungsmass der Haut anzuwenden sein.

Ich sage nicht, dass durch diese Betrachtungen die Anwendbarkeit des Weber'schen Gesetzes und der davon abhängigen Formeln auf die extensiven Empfindungen gesichert ist, sondern nur, dass danach die Möglichkeit dieser Anwendung noch besteht. Einen entscheidenden Erfahrungsbeweis wüsste ich nicht zu finden; inzwischen giebt es manche Folgerungen dieser Anwendung, die an sich von Interesse und der Prüfung aus einem gewissen Gesichtspuncte nicht ganz unzugänglich sind, und auf die ich daher noch mit Einigem eingehen will.

Insofern unter sonst gleichen Umständen die Zahl der thätigen Empfindungskreise der Netzhaut der Grösse der Netzhaut proportional ist, ersetze ich zuerst Zahl der Empfindungskreise durch Grösse der Netzhaut, indem ich auf die stattfindende Ungleichförmigkeit der Nervendichtigkeit der Netzhaut bei demselben Individuum, und Ungleichheit dieser Dichtigkeit zwischen verschiedenen Individuen zuerst noch keine Rücksicht nehme, was nachher geschehen wird. Unter scheinbarem Gesichtsfelde wird stets das Gesichtsfeld verstanden werden, so wie es im geschlossenen Auge, abgesehen von Erfahrungseinflüssen, erscheint.

Nach Anwendung unserer Massformel wird, damit überhaupt ein scheinbares Gesichtsfeld von einer spürbaren Ausdehnung erzeugt werde, eine gewisse Ausdehnung der Netzhaut (Zahl der discret thätigen Empfindungskreise) erfordert werden, welche als Schwellenwerth anzusehen ist, und unter Voraussetzung, dass dieser Schwellenwerth als Einheit der, allgemein mit a zu bezeichnenden, Ausdehnung der Netzhaut gilt, und k in der Massformel $= 1$ gesetzt wird, wird $\log a$ das Mass der scheinbaren Ausdehnung des Gesichtsfeldes geben.

Soll sich das scheinbare Gesichtsfeld ver-n-fachen, so muss $\log a$ in $n \log a = \log a^n$ übergehen, d. h. die Netzhaut, welche dieses n-fache Gesichtsfeld geben soll, muss eine Ausdehnung erlangen, welche nicht die n-fache Grösse, sondern die $n$te Po-

tenz derjenigen Grösse hat, die der Netzhaut mit einfacher Ausdehnung zukommt.

Ist die Grösse der Netzhaut schon sehr gewachsen, so wird eine Verdoppelung ihrer Grösse das scheinbare Gesichtsfeld in keinem merklichen Verhältnisse mehr verändern, sofern dann log 2 gegen log a verschwindet.

Hieraus erhellt, dass sehr grosse Augen, wenn es galt, grosse Leistungen mit möglichst wenig Aufwand von Mitteln zu erzeugen, teleologisch nicht vortheilhaft sind. Auch hat es die Natur vorgezogen, sich mit vielen Augen in vielen Geschöpfen, als wenig grossen in wenigen zu beschauen, wobei freilich auch noch andere Vortheile in Betracht kommen. Gar zu kleine Augen aber würden eben so wenig vortheilhaft sein, da unterhalb der Ausdehnungsschwelle gar nichts mehr gesehen wird.

Fragt man dann, mit welcher Netzhautgrösse A die grösstmögliche verhältnissmässige extensive Leistung erzielt werden würde, d. h. das grösstmögliche scheinbare Gesichtsfeld im Verhältnisse zu der dazu verwandten Netzhautgrösse, so wird man den Maximumwerth des Ausdruckes

$$\frac{\log a}{a}$$

zu suchen haben; was durch Differenzirung nach bekannter Regel jenen Maximumwerth wiederfinden lässt, der uns schon mehrmals begegnet ist,

$$A = e = 2,71828 \ldots$$

wo e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen. Wonach die relativ vortheilhafteste Ausdehnung der Netzhaut die wäre, welche das 2,718..-fache ihres Schwellenwerthes ist.

Untersuchen wir nun, welchen Einfluss die Grösse der Netzhaut a auf die scheinbare Grösse der darauf fallenden Bilder hat. Sei α der Theil der Netzhaut, welchen das Bild deckt. Nach dem S. 337 aufgestellten Principe wird die Grösse, unter welcher das Bild erscheint, $\frac{\alpha}{a}$ von der Grösse sein, unter welcher die ganze Netzhaut erscheint, diese aber erscheint unter der Grösse *log a*. Also wird die scheinbare Grösse des Bildes sein $\frac{\alpha}{a} \log a$. Insofern nun a im Divisor dieses Ausdruckes steht, ist die Grösse der Netzhaut nachtheilig für die scheinbare Grösse der darauf fallenden

Bilder. Das Bild von gegebener Grösse α deckt dann nämlich einen um so kleineren Verhältnisstheil der ganzen Netzhaut a, und nach diesem Verhältnisstheile richtet sich der Verhältnisstheil, welchen die scheinbare Grösse des Bildes von der scheinbaren Ausdehnung der Netzhaut bildet. Aber die scheinbare Ausdehnung der Netzhaut wächst zugleich im Verhältnisse von $\log a$, und hiemit auch die absolute Grösse des Verhältnisstheiles, welcher auf das Bild kommt. Diess begründet von anderer Seite einen Vortheil der Vergrösserung der Netzhaut für die scheinbare Grösse des Bildes.

Nach Umständen kann nun der Nachtheil oder Vortheil überwiegen, und auch hier giebt es einen Punct grössten Vortheils, der mit dem vorigen zusammenfällt. Das Maximum, d. h. wo ein Bild von gegebener Grösse auf der Netzhaut möglichst gross erscheint, findet wieder bei einer Netzhaut statt, deren Ausdehnung $A = e$, im vorhin angegebenen Sinne.

Bis jetzt haben wir uns nur die Ausdehnung der Netzhaut bei gleichförmiger und gleicher Nervendichtigkeit veränderlich gedacht. Denken wir uns jetzt die Nervendichtigkeit verschiedener Netzhäute bei gleicher Ausdehnung verschieden, so wird das scheinbare Gesichtsfeld sich in demselben Verhältnisse dadurch abändern, als durch Abänderung der Ausdehnung, insofern die Ausdehnung der Netzhaut selbst nur nach Massgabe der Zahl der Empfindungskreise in ihr in Rechnung kommt, so dass eine doppelt so dichte Netzhaut ein eben so grosses scheinbares Gesichtsfeld hat, als eine doppelt so ausgedehnte bei ungleicher Dichtigkeit.

Allgemein, wenn D die immer noch als gleichförmig vorausgesetzte Nervendichtigkeit der Netzhaut, a ihre wirkliche Ausdehnung, α die Ausdehnung des Theils, auf den das Bild fällt, ist, so wird die scheinbare Grösse des Gesichtsfeldes sein $\log Da$, die scheinbare Grösse des Bildes $\frac{\alpha}{a} \log Da$, wonach durch Verdichtung der Netzhaut mehr für die scheinbare Grösse des Bildes gewonnen werden kann, als durch Vergrösserung derselben, weil D nicht eben so wie a in den Divisor des Ausdrucks für die scheinbare Grösse des Bildes eingeht. In der That sehen wir diesem Gesichtspuncte durch grosse Nervendichtigkeit bei geringer Grösse der Netzhaut entsprochen. Indess kann natürlich die Nervendichtigkeit, d. h. Zahl der auf einer grossen Fläche zusammen-

gedrängten Netzhautelemente, falls sie sich einmal berühren, nur auf Kosten ihrer Ausdehnung vermehrt werden, wo dann jeder nur noch weniger Lichtstrahlen aufnehmen kann, was die Intensität der Empfindung vermindern muss.

Uebrigens kann die Vergrösserung von D verhältnissmässig nur um so weniger zur Vermehrung der scheinbaren Grösse des Bildes beitragen, je weiter sie über einen gewissen Punct hinausgetrieben wird. Denn ver-m-facht man D in der Formel für die scheinbare Ausdehnung des Bildes, so wächst der Ausdruck um $\frac{\alpha}{a} \log m$, was gegen $\frac{\alpha}{a} \log Da$ um so mehr verschwindet, je grösser Da schon ist.

Bisher war gleichförmige Nervendichtigkeit vorausgesetzt. Eine solche aber findet nicht wirklich statt, und unsere Theorie schliesst die sehr merkwürdige, weil merkwürdig mit den Einrichtungen der Natur zusammenstimmende, Folgerung ein, dass ein besonderer Vortheil dadurch erzielt werden kann, dass der Theil der Netzhaut, auf den das Bild fällt, sehr nervendicht im Verhältnisse zum übrigen gemacht wird, indem der Bruchtheil der gesammten Anzahl Empfindungskreise, den das Bild deckt, dadurch grösser wird, ohne dass sich die im Divisor auftretende Gesammtzahl der Empfindungskreise a dadurch erheblich vergrössert.

In der That, wenn D die mittlere Nervendichtigkeit, a die Ausdehnung der ganzen Netzhaut, d die Nervendichtigkeit und α die Ausdehnung des Theiles, auf den das Bild fällt, ist, so ist das ganze scheinbare Gesichtsfeld *log* Da, und die scheinbare Ausdehnung des Bildes $\frac{d\alpha}{Da} \log Da$; woraus folgt, dass die scheinbare Ausdehnung des Bildes bei gegebenem D im directen Verhältnisse von d wächst.

Hienach erscheint die Einrichtung, nach der wir nur eine sehr kleine sehr nervendichte deutlich sehende Stelle bei einer im Verhältnisse dazu viel minder nervendichten übrigen Netzhaut haben, als die vortheilhaft möglichste, die grösste verhältnissmässige Leistung im Sehen zu erzielen. Nur dass diese Einrichtung noch die zweite Einrichtung nöthig machte, die Augen beweglich einzurichten, um hiedurch das Aequivalent eines grossen deutlichen Sehfeldes zu erlangen. Entsprechend ist auch unser

Tastorgan eingerichtet; und die nervendichtesten Stellen sind hier noch insbesondere an den freibeweglichsten Theilen, der Zunge und den Fingern, angebracht.

Wenn über die Verhältnisse der Nervendichtigkeit zur Grösse der Netzhaut und andere Verhältnissen bei verschiedenen Thierklassen mehr bekannt wäre, als zur Zeit der Fall, würden sich unter Zuziehung des teleologischen Princips, ohne welches hier nichts auszurichten, vielleicht bestimmtere Bestätigungen dieser Theorie oder auch bestimmtere Einwürfe dagegen ergeben, da ich in der That weit entfernt bin, dieselbe für eine sichere auszugeben. Es gilt in dieser Hinsicht, was Bergmann*) mit Bezug auf die durch Weber's Versuche am Tastsinne begründeten Ansichten sagt:

»Somit kommen wir zu dem Resultate, dass die Grösse des Bildes im Auge wohl nur in dem Masse ein genaues Sehen möglich macht, als damit eine Ausbreitung des Bildes über eine grössere Zahl von Nervenendigungen verbunden ist. — Dadurch aber stehen wir der Frage gegenüber, nach welchem Masse die Vertheilung der Nervenendigungen in den Augen verschiedener Thiere angeordnet sein mag? Die äusserst schwierige Anatomie der Netzhaut ist bis jetzt nicht im Stande, diese Frage zu lösen; aber es ist anzunehmen, dass die einstige Lösung Licht über manche Eigenthümlichkeiten des Sehens verschiedener Thiere wird verbreiten müssen.«

Die Grösse, welche das Bild eines möglichst deutlich gesehenen Gegenstandes auf der Netzhaut eines Geschöpfes deckt, hängt einerseits von der deutlichen Sehweite des Geschöpfes, andererseits dem Abstande des Kreuzungspunctes der Sehstralen von der Netzhaut, drittens von dem Radius des Auges und mithin der Netzhaut ab. Gesetzt nun, wir hätten Geschöpfe, bestimmt, aus viel grösserer Entfernung deutlich zu sehen, als der Mensch, wie würden ihre Augen beschaffen sein müssen? Unstreitig so, dass die Kleinheit des Bildes, welches durch die grosse Entfernung der Gegenstände bedingt wird, durch andere Verhältnisse compensirt würde. Welches werden diese Verhältnisse nach unserer Theorie sein? Das Verhältniss der Nervendichtigkeit auf dem deutlichst-

*) Anatom. physiol. Unters. S. 470.

sehenden Theile zum übrigen, so wie der Radius, also die Grösse des Auges, wird wachsen müssen, die Grösse der Netzhaut aber nicht im Verhältnisse mitwachsen dürfen, weil die vortheilhafteste Ausdehnung der Netzhaut unabhängig von der Grösse des Auges sich bestimmt. In der That bieten die Vögel, welche bei ihrer Bestimmung zum Fluge sehr weit zu sehen haben, durchschnittlich sehr grosse Augen, aber mit verhältnissmässig zur Grösse des Auges kleinerer Netzhaut dar, als Säugethiere, wie ich der mündlichen Aeusserung eines Sachkundigen entnehme. Ueber die Verhältnisse der Nervendichtigkeit ist mir nichts bekannt.

In »Müller z. vergl. Physiol. des Gesichtss. S. 132« finde ich hingegen folgende Angabe: »Bei dem Adler und Geier soll die Netzhaut wie unter den Fischen bei der Gattung *Zeus* und bei den Meeräschen in den Meridianen einer Kugel gefaltet sein; und bei den Geiern soll die Netzhaut nach der Entwickelung dreimal grösser sein, als in ihrer natürlich gestalteten Ausdehnung.«

Bei diesen Vögeln würde also die Netzhaut doch eine beträchtliche Grösse haben; was nicht zu unserer Formel passen würde, insofern nicht diese Grösse mit ihrem beträchtlichen Faserinhalte darauf berechnet wäre, den deutlich sehenden Theil sehr nervendicht mit Nervenenden zu machen.

Jedenfalls sieht man, dass sich hier mancher Gesichtspunct für interessante Untersuchungen anatomischerseits darbietet, zu welchen anzuregen nur der Zweck der vorigen Bemerkungen sein konnte.

Unstreitig kommt es bei Ausführung dieser Theorie auch mit auf folgende Abwägung an: Grosse (vielzweigige) Empfindungskreise werden den Vortheil gewähren, intensive Empfindungen zu erzeugen, indem sich die Eindrücke darauf zu einer intensiven Empfindung summiren, aber den Nachtheil, dass verschiedene einander juxtaponirte Eindrücke darauf verfliessen, dass wegen verringerter Zahl derselben in gegebenem Raume die scheinbare Grösse der Bilder sich verkleinert und die Grössenschätzung unsicher wird, sofern nach dem, bezüglich der Volkmann'schen Constante erörterten Principe (Th. I. S. 230) eine Länge gleich gross erscheinen muss, mag sie mit ihren Enden auf die einander nächsten oder entferntesten Theile zweier Empfindungskreise fallen.

XXXV. Einige Tastversuchsreihen nach der Methode der mittleren Fehler mit Erläuterungen dieser Methode.

Von den folgenden 6 Versuchsreihen ist I bis IV insbesondere bestimmt, zu beweisen, dass das Weber'sche Gesetz sich für das Tastmass nicht eben so wie für das Augenmass bestätigt, sondern

dass der mittlere Fehler oder die Fehlersumme, woraus er gezogen worden, sich in kleinerem Verhältnisse vergrössert, als die Normaldistanzen auf der Haut, bei denen er erhalten wird, und dass er bei grösseren Distanzen fast constant bleibt; die Reihe V, eine sehr grosse mit 6400 Beobachtungen, zeigt, dass die 5 Finger (Vorderglied, Volarseite, Längsdistanz) sich in dem Grade der Unterschiedsempfindlichkeit nicht sehr unterscheiden, der Zeigefinger aber doch entschieden die grösste Empfindlichkeit besitzt, ein Resultat, das, um für allgemein zu gelten, freilich erst noch an anderen Personen constatirt werden müsste, und bei verschiedener Gebrauchsweise der Hände zur Arbeit und den täglichen Verrichtungen des Lebens möglicherweise sich verschieden stellen könnte. Die Reihe VI giebt den Maximumgrad der Unterschiedsempfindlichkeit, den ich bis jetzt mit dem Tastorgane erlangte, worüber S. 316 gesprochen worden ist.

Abgesehen hievon sind die folgenden Reihen, besonders V und VI, bestimmt, die Methode der mittleren Fehler nach verschiedenen Seiten etwas specieller an Beispielen zu erläutern. Hiebei wird ein Rückblick auf das vorausgesetzt, was in Th. I. Kap. 8, insbesondere von S. 120 an, über die Methode der mittleren Fehler gesagt ist, wozu noch die Bemerkungen in Th. II. von S. 148 an über die Analyse des constanten Fehlers c in seine Componenten zugezogen werden können, wovon jedoch folgends das Wesentliche resumirt wird. Die Beobachtungen sind unter den im 8. Kapitel im Allgemeinen angegebenen Massregeln angestellt, und die Bezeichnungen hier wie dort zu verstehen. Zu der daselbst gegebenen allgemeinen Darstellung der Methode wird es jedoch nöthig sein, folgends noch einige ergänzende Erörterungen zu fügen.

Die speciellen Massregeln bei den folgenden Versuchen waren diese:

Bei meinen eigenen Versuchen wurden immer gestielte Schenkelzirkel mit eingelassenen Nähnadelspitzen (Länge der Schenkel 5 par. Duod.-Zoll) angewandt, und diese bei der Application an den Stielen gefasst. Wo nicht (wie bei Reihe IV und theilweis VI) besonders bemerkt ist, dass die Application der Zirkel durch einen Gehülfen geschahe, fand Selbstapplication derselben statt. Die Reihe VI hat u. a. den Zweck, den verschiedenen Erfolg beider Applicationsweisen zu bestimmen. Bei den Beobachtungen am

Vordergliede der Finger (Reihe II, V, VI) wurde von mir die eine Zirkelspitze stets in die Gelenkfuge zwischen dem vorderen und mittleren Fingergliede, und die andere nach vorn auf das Vorderglied aufgesetzt. Diess geschahe, wie überhaupt die Versuche, ohne Zuziehung des Gesichtssinnes, indem man sich bald übt, die rechte Stelle auch ohne das zu treffen.

Stets wurden von mir je 10 Beobachtungen unter ganz denselben Umständen (mit derselben Normaldistanz, auf derselben Hautstelle, bei derselben Zeit- und Raumlage der Zirkel) unmittelbar hinter einander angestellt; ausgenommen in Reihe I bei den Beobachtungen an der Stirne, deren Haut zu empfindlich ist, um eine so oft hinter einander wiederholte Application der Zirkelspitzen auf derselben Stelle zu vertragen, und in Reihe II am Finger, wo die mitzugezogene kleine Distanz $5d$ wegen der Nähe der Zirkelspitzen an einander die Entstehung eines Reizzustandes erleichterte.

Wenn mehrere Normaldistanzen in derselben Reihe geprüft wurden, wurden sie stets hinter einander durchlaufen, und an verschiedenen Tagen mit auf- und absteigender Folge derselben gewechselt, so wie auch in der Zeit- und Raumlage der Zirkelapplication ein ganz regelmässiger Wechsel nach Fractionen à $m=10$ oder nach Tagen beobachtet ward.

Wenn der Normalzirkel bei der Application mit der linken, der Fehlzirkel mit der rechten Hand gehalten wurde, ist diess mit L bezeichnet, umgekehrt mit R; — wenn der Normalzirkel zuerst, der Fehlzirkel zuzweit applicirt wurde, ist diess mit I, umgekehrt mit II bezeichnet*); so dass hienach 4 Zeit-Raumlagen

$$\mathrm{I}L,\ \mathrm{II}L,\ \mathrm{I}R,\ \mathrm{II}R$$

unterscheidbar sind, wovon jedoch in Reihe I blos IL und IR in Anwendung kamen. Wenn beide Zirkel in dieselbe Hand gefasst wurden, um an der anderen Hand Versuche damit anzustellen, kommt statt der Fassung R und L die Fassung mit dem oberen und unteren Theile der Hand in dem, Th. II. S. 150. Anmerk. angegebenen Sinne in Betracht, welche durch O und U unterschieden wird.

Die Normaldistanz ist stets mit D bezeichnet, und die Einheit, in der alle Zahlen bei meinen Versuchen ausgedrückt sind,

---

*) Vergl. hierüber specieller Th. II. S. 149.

1 halbe pariser Decimallinie = 0,72 paris. Duodecimallinien, mit d. Die Ablesung der Fehler geschahe an einem Massstabe mit Transversalen, welcher 0,1 d giebt. Kleinere Werthe als diese Grösse waren also nicht direct zu erhalten, obgleich ein Mittel aus vielen Beobachtungen solche noch mit verhältnissmässiger Sicherheit geben kann.

Die Fractionirung bei der Berechnung der von mir angestellten Reihen ist stets auf 10 Beobachtungen geschehen, welche, mit Ausnahme bei Reihe I und II, auch stets unmittelbar hinter einander angestellt waren, indem die mittlere Fehldistanz für je 10 Beobachtungen besonders bestimmt, die reinen Fehler als Differenzen der einzelnen Fehldistanzen von ihrer mittleren berechnet, und die solchergestalt fractionsweise erhaltenen reinen Fehlersummen zur Gesammtsumme $\Sigma\Delta$ zusammengelegt wurden. Indem nun m die Zahl der Beobachtungen jeder Einzelfraction, μ die Anzahl der Fractionen bedeutet, aus denen jeder Werth $\Sigma\Delta$ in den folgenden Versuchstabellen abgeleitet ist, ist μm die Zahl der Einzelbeobachtungen, die dazu beigetragen haben; für die Summenspalten in den Tabellen jedoch μm noch mit der Zahl der summirten Posten multiplicirt zu denken. Den mittleren Fehler ε erhält man dann durch Division von $\Sigma\Delta$ mit der Zahl der dazu beitragenden Fehler.

Das Vorige betraf wesentlich nur die eigenen Beobachtungsreihen (I, II, V, VI). Die Volkmann'schen (III, IV) sind mit anderen Zirkeln, deren Einrichtung ich nicht genau angeben kann, ohne Unterscheidung besonderer Zeit- und Raumlage, die nicht eben wesentlich dabei war, und mit anderer Zusammenfassung der Beobachtungen angestellt, auch andere Masseinheiten dabei angewandt, worüber bei der speciellen Mittheilung der Reihen das Nöthige.

Um die richtige Auslegung der Zahlen in den Tabellen jedenfalls zu sichern, erläutere ich die erste Zahl der ersten Versuchstabelle.

Unter $D = 15$ findet sich hier für I L die Zahl 32,7, indess über der Tabelle $m = 10$, $\mu = 5$ steht, das heisst; bei einer Normaldistanz $D = 15$ halbe pariser Decimallinien, in der Zeit-Raumlage I L wurde durch $m\mu = 50$ Beobachtungen, also durch 50 reine Einzelfehler eine Fehlersumme $\Sigma\Delta = 32{,}7$ halben pariser Decimallinien erhalten, welche durch Berechnung aus 5 Fractio-

nen à $m = 10$ abgeleitet ist, was als ε für 1 Fehler giebt 0,654 halbe pariser Decimallinien. Eben so sind alle anderen Zahlen derselben Tabelle unter den Rubriken IL, IR auszulegen. Die Summenzahl 66,5 für IL und IR bei $D = 15$ wird dann, als für die doppelte Zahl Beobachtungen geltend, natürlich mit 100, statt 50 zu dividiren sein, um ε für 1 Beobachtung zu geben, und noch mit $\frac{3}{3}\frac{1}{0}$, wenn man wegen des endlichen m corrigiren und damit ε_1 erhalten will. Der constante Fehler c wird immer als durchschnittlicher für 1 Beobachtung angegeben. Die Zahl der Beobachtungen, aus denen man ihn ableitet, d. i. die Grösse des m, hat nicht eben so wie bei $\Sigma\Delta$ einen Einfluss auf seine Grösse, sondern nur auf die Sicherheit seiner Bestimmung.

Wo Beobachtungen bei 4-facher Zeit-Raumlage angestellt sind, werden die allgemein mit c bezeichneten constanten Fehler speciell genannt

	c_1	c_2	c_3	c_4
bei	IL	IIL	IR	IIR
oder	IU	IIU	IO	IIO

Derselbe lässt sich dann, wie Th. II. S. 148 ff. ausführlicher auseinandergesetzt ist, in eine von der Zeitlage abhängige Componente p, eine von der Raumlage abhängige Componente q, und eine von beiden unabhängige Componente s, welche wahrscheinlich den, Th. II. S. 141. 151 angegebenen Ursprung hat, analysiren, indem man setzt

$$c_1 = p + q + s$$
$$c_2 = -p + q + s$$
$$c_3 = p - q + s$$
$$c_4 = -p - q + s$$

und hieraus p, q, s durch Addition und Subtraction dieser Gleichungen von einander bestimmt, was, je nachdem man diese oder jene zwei Gleichungen dazu nimmt, eine doppelte Bestimmung von p, q, s giebt, welche sich controlirt. Die beiden so erhaltenen Werthe werden durch die unten angehängten Indices 1 und 2 unterschieden und ihr Mittel ohne Index angegeben werden. Da die gute oder schlechte Uebereinstimmung der Doppelwerthe einer Componente zugleich die der beiden anderen verbürgt (vgl. Th. II. S. 152), was zu constatiren die folgenden Reihen (II, V, VI) selbst hinreichende Gelegenheit geben, so sind im Allgemeinen blos die Doppelwerthe für die Componente s, als die in der Regel grösste,

specificirt, von den anderen Componenten p, q nur die Mittel angegeben.

Wo, wie bei Reihe I, blos Beobachtungen bei IL und IR vorliegen, stehen blos die Gleichungen

$$c_1 = p + q + s$$
$$c_3 = p - q + s$$

zu Gebote, und man kann den constanten Fehler dann blos in eine von der Raumlage abhängige Componente q und eine davon unabhängige $p + s$ trennen, ohne $p + s$ selbst trennen zu können.

In Th. I. S. 125. 127 habe ich von mehreren Correctionen gesprochen, welche an der reinen Fehlersumme $\Sigma\Delta$ oder dem daraus abgeleiteten Mittelfehler $\varepsilon = \frac{\Sigma\Delta}{m}$ angebracht werden können, wovon die wichtigste die wegen des endlichen m ist (Th. II. S. 126), nach welcher $\Sigma\Delta$ oder ε noch mit $\frac{3m+1}{3m}$ zu multipliciren ist. Da ich diese, bisher noch nicht hergeleitet gewesene, wichtige Correction im Folgenden mehrfach anwende, will ich die Herleitung derselben unter dem 1. Zusatz zu diesem Kapitel beifügen. Das Verständniss dieser Herleitung setzt eine etwas nähere Bekanntschaft mit der mathematischen Fehlertheorie voraus. Ohne Correction werde der aus den reinen Fehlern abgeleitete Mittelfehler mit ε, nach der Correction wegen des endlichen m mit ε_1 bezeichnet, so dass

$$\varepsilon_1 = \frac{3m+1}{3m}\varepsilon$$

Ausser dieser Correction habe ich Th. I. S. 127 noch zweier, unter Umständen anzubringender, Correctionen von $\Sigma\Delta$ und ε erwähnt, der Correction wegen der Grösse der Intervalle und wegen Schätzung der Eintheilung, die meist zu vernachlässigen sind, und von denen die zweite hier überhaupt nicht in Betracht kommt, da keine Schätzung von Zwischentheilen am Massstabe stattfand; die erste aber nicht unzweckmässig bei den Versuchen der Reihe VI zu berücksichtigen ist, da hier der Mittelfehler (bei Abtheilung V) nicht viel grösser als 0,1 d, d. i. als das kleinste Intervall des Massstabes ist. Ich gebe hier diese Correction nachträglich kurz und für praktischen Zweck genügend an, und füge das Theoretische darüber unter dem 2. Zusatze bei.

Sei die wegen der Grösse der Intervalle noch nicht corrigirte, mithin falsche, Fehlersumme $\Sigma\Delta$ und der uncorrigirte Mittelfehler $\frac{\Sigma\Delta}{m} = \varepsilon$; seien die kleinsten unterschiedenen Intervalle der Eintheilung von der Grösse i, so findet sich die corrigirte oder wahre Fehlersumme $S\Delta$ aus der falschen $\Sigma\Delta$ durch folgende Gleichung

$$S\Delta = \Sigma\Delta \left(1 - 0{,}053 \frac{i^2}{\varepsilon^2}\right)$$

so wie der corrigirte Mittelfehler ε_1 aus dem falschen durch

$$\varepsilon_1 = \varepsilon \left(1 - 0{,}053 \frac{i^2}{\varepsilon^2}\right)$$

Ist also z. B. $i = \varepsilon$, so hat man

$$S\Delta = 0{,}947\ \Sigma\Delta$$

was eine nicht zu vernachlässigende Correction ist. Wäre i nur $= \frac{1}{4}\varepsilon$, so wäre $\frac{i^2}{\varepsilon_2} = \frac{1}{16}$ mithin

$$S\Delta = 0{,}9967\ \Sigma\Delta$$

Hienach kann man selbst bemessen, inwiefern die Natur der Beobachtungen und Aufgaben es nöthig erscheinen lässt, sich auf diese übrigens sehr einfache Correction einzulassen. Ich bin blos bei der Reihe VI darauf eingegangen.

Bei den sehr kleinen constanten Fehlern, die zum Theil im Folgenden vorkommen, kann man mehrfach fragen, ob ihr Dasein nicht blos auf unausgeglichenen Zufällligkeiten ruht. Um diess zu beurtheilen, muss man den wahrscheinlichen Fehler des constanten Fehlers suchen, und sehen, ob er in erheblichem Verhältnisse durch die Grösse des constanten Fehlers selbst überschritten wird, was sehr einfach nach folgender Regel mittelst des zu dem Werthe c gehörigen Werthes $\Sigma\Delta$ geschehen kann.

Sei $M = m\mu$ die Gesammtzahl der Beobachtungen, aus denen c und mithin das zugehörige $\Sigma\Delta$ abgeleitet ist, wo m wie gewöhnlich die Fehlerzahl einer Fraction, μ die Zahl der Fractionen ist, die zu $\Sigma\Delta$ beigetragen haben, so ist der wahrscheinliche Fehler w von c

$$w = \frac{0{,}845347}{M\sqrt{M}} \cdot \frac{3m+1}{3m} \cdot \Sigma\Delta.$$

So gehört in der ersten Beobachtungsreihe (bei $D = 15$, I L) zur Fehlersumme $\Sigma\Delta = 32{,}5$ der constante Fehler $+ 0{,}89$. Da $\Sigma\Delta$ und c aus 50 Beobachtungen abgeleitet sind, so ist $M = 50$,

und da bei der Ableitung Fractionen à 10 angewendet sind, so ist $m = 10$; hienach

$$w = \frac{0,8453\ldots}{50\sqrt{50}} \cdot \frac{31}{30} \cdot 32,7 = 0,0804$$

Der constante Fehler c also, wenn wir, wie gewöhnlich, den wahrscheinlichen Fehler mit $\pm$ beifügen, so zu schreiben

$$c = +\ 0,8900 \pm 0,0804$$

was sagt, die Wahrscheinlichkeit steht gleich, dass der Werth $+0,89$ um mehr und dass er um weniger als 0,0804 in Plus oder Minus von dem Werthe c abweicht, der durch eine unendliche Zahl vergleichbarer Beobachtungen erhalten worden wäre. Sollte nun der constante Fehler nicht erheblich grösser sein, als dieser wahrscheinliche Fehler, oder, wie man sich kurz ausdrücken kann, sollte er durch denselben ganz oder nahe absorbirt werden, so liesse sich das, was man als constanten Fehler bestimmt hat, nicht unwahrscheinlich als blos von unausgeglichenen Zufälligkeiten abhängig ansehen, und dem constanten Fehler keine Realität beilegen; sollte aber z. B. c doppelt so gross sein als w, so würde 82 gegen 18 zu wetten sein, und sollte er 3mal so gross sein, so würde 96 gegen 4 zu wetten sein, dass er nicht vom Zufalle abhängt; noch mehr, wenn er in noch stärkerem Verhältnisse w überwöge. In unserem Beispiele, wo $c = 0,8900$ merklich 11mal so gross als $w = 0,0804$ ist, ist die Wahrscheinlichkeit, dass er vom Zufalle abhänge, ganz verschwindend.

Die vorige allgemeine Regel zur Bestimmung von w begründet sich wie folgt: der wahrscheinliche Fehler des constanten Fehlers c kommt mit dem wahrscheinlichen Fehler der mittleren Fehldistanz (= Normaldistanz $+ c$) überein, da der wahrscheinliche Fehler einer Grösse sich nicht ändert, wenn man zu dieser eine feste Grösse (Normaldistanz) zugefügt oder davon abgezogen denkt. Den wahrscheinlichen Fehler der mittleren Fehldistanz aber kann man aus den Abweichungen, welche die einzelnen Fehldistanzen von derselben haben, d. i. den reinen Fehlern Δ bestimmen; was entweder in der gewöhnlichen Weise aus der Summe der Fehlerquadrate und dem daraus abgeleiteten quadratischen mittleren Fehler ε_q nach der Formel

$$w = \frac{0,674489}{\sqrt{M}}\,\varepsilon_q,$$

aber auch merklich gleichgeltend mittelst der einfachen Fehlersumme und des daraus abgeleiteten einfachen mittleren Fehlers ε_1 nach der Formel

$$w = \frac{0,845347}{\sqrt{M}}\,\varepsilon_1$$

geschehen kann, insofern ε_q und ε_1 durch das (theoretisch begründete und von mir experimental verificirte) normale Verhältniss

$$\frac{\varepsilon_q}{\varepsilon_1} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1{,}2533\ldots$$

verknüpft sind. ε_1 aber wird erhalten, indem man $\Sigma\Delta$ mit der Gesammtzahl der Beobachtungen M dividirt und wegen des endlichen m corrigirt, wodurch man zu der angegebenen Formel gelangt.

Die Erörterung, wie die obigen speciellen Wahrscheinlichkeitsregeln bezüglich des Verhältnisses von c zu w gefunden sind, würde hier zu weit führen; auch beruht diese Bestimmung auf hinreichend bekannten Principien.

Hat man die wahrscheinlichen Fehler w für c_1, c_2, c_3, c_4 insbesondere bestimmt, und die zugehörigen Werthe von $w = w_1$, w_2, w_3, w_4 gefunden, so erhält man daraus leicht auch den wahrscheinlichen Fehler der Componenten p, q, s, welcher W heisse. Derselbe ist nämlich, wenn diese Componenten nach den Gleichungen S. 347 aus allen 4 Werthen c solidarisch bestimmmt sind, für alle drei gleichgeltend

$$W = \frac{\sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + w_4^2}}{4}$$

Hat man irgendwelche der Componenten des constanten Fehlers blos aus zwei Werthen von c, z. B. c_1, c_2 oder c_1, c_3 bestimmt, so ist auch der Werth des wahrscheinlichen Fehlers dieser Componente nur

$$W = \frac{\sqrt{w_1^2 + w_2^2}}{2} \text{ oder } \frac{\sqrt{w_1^2 + w_3^2}}{2}$$

u. s. f.

Auch jede Componente des constanten Fehlers wird man nach gleichem Principe als den ganzen constanten Fehler als Sache blos unausgeglichener Zufälligkeiten ansehen können, wenn ihre Grösse nicht die des wahrscheinlichen Fehlers W erheblich übersteigt.

Hat man die Werthe des constanten Fehlers c für die μ Fractionen einer grösseren Beobachtungsreihe besonders bestimmt, wozu ich in Reihe VI Beispiele gebe, so kann man auch die Abweichungen, welche die μ Fractionswerthe des constanten Fehlers vom mittleren c darbieten, und welche ϑ heissen mögen, in Betracht ziehen, und diese Abweichungen benutzen, nach der gewöhnlichen Regel mittelst der Summe der Quadrate $\Sigma(\vartheta^2)$ oder mittelst der einfachen Summe $\Sigma\vartheta$ einen wahrscheinlichen Fehler von c zu berechnen, ersteres mittelst der Formel

$$w = 0{,}674489 \sqrt{\frac{\Sigma(\vartheta^2)}{\mu(\mu-1)}}$$

letzteres mittelst der Formel

$$w = 0{,}845347 \frac{3\mu+1}{3\mu} \frac{\Sigma\vartheta}{\mu\sqrt{\mu}}$$

wo μ die Zahl der Fractionen und mithin Einzelwerthe von c ist. Inzwischen hat der so berechnete wahrscheinliche Fehler nicht ganz gleiche Bedeutung mit dem, nach S. 349 aus $\Sigma\Delta$ bestimmten, indem er wesentlichst mit abhängig ist von den, bei längeren Versuchsreihen nie leicht fehlenden, Variationen des constanten Fehlers. Während jener blos massgebend ist für die von grösseren und geringeren unregelmässigen zufälligen Einflüssen abhängige Sicherheit der Bestimmung des constanten Fehlers, ist dieser zugleich massgebend für den Grad des Schwankens des constanten Fehlers, und es können daher zwar beide Bestimmungsweisen (aus $\Sigma\Delta$ und $\Sigma\vartheta$) unter Umständen, wo das Schwanken gering ist, nahe übereinstimmende, unter Umständen aber auch ausnehmend abweichende Resultate geben, wie die Beispiele in Reihe VI beweisen. Um zu entscheiden, ob ein Schwanken statt gefunden habe, ist es daher nützlich, beide Bestimmungsweisen zu vergleichen.

Wo nichts besonders bemerkt ist, ist w im Folgenden immer aus $\Sigma\Delta$ nach der S. 349 gegebenen Formel berechnet.

Unstreitig ist eine absolut reine Trennung der Fehler Δ von Variationen des constanten Fehlers in Wirklichkeit durch keine Fractionirung und fractionsweise Behandlung der Beobachtungsreihen möglich, und leidet selbst an begrifflichen Schwierigkeiten. Wenn man aber alle zu vergleichenden Beobachtungen stets in Fractionen von derselben mässigen Zahl unter vergleichbaren Umständen anstellt, und bei der Berechnung stets zu gleichem m zusammenfasst, so wird die daraus hervorgehende Unterscheidung der Variationen des constanten Fehlers und der reinen Fehler Δ immer nützlich, und diese fractionsweise Behandlung der unfractionirten Behandlung, wo sich die Variationen des constanten Fehlers mit dem Fehler Δ ununterscheidbar mischen, vorzuziehen bleiben.

Es wird nicht ohne Nutzen sein, wenn ich hier auch noch den wahrscheinlichen Fehler der reinen Fehlersumme $\Sigma\Delta$ und des daraus abgeleiteten Mittelfehlers ε angebe. Man erhält ihn, indem man respectiv $\Sigma\Delta$ oder ε mit

$$\lambda = \frac{0{,}509584}{\sqrt{m}}$$

multiplicirt*). Nehmen wir wie gewöhnlirh $m = 10$, so ist $\lambda = 0,16115$; wonach man nach einer mittleren Wahrscheinlichkeit jede reine Fehlersumme so wie jeden reinen Mittelfehler aus einer Fraction à $m = 10$ ungefähr um $\frac{1}{6}$ ihrer Grösse falsch bestimmt. Nicht, dass diess bei jeder einzelnen Fraction wirklich stattfände; aber wenn man viele Fractionen mit $m = 10$ vor sich hat, ist der Irrthum eben so oft über als unter dem angegebenen. Um den wahrscheinlichen Fehler einer totalen Fehlersumme aus μ Fractionssummen von gleichen m zu bestimmen; hat man die μ Fractionssummen einzeln zum Quadrat zu erheben, aus der Summe dieser Quadrate die Wurzel zu ziehen, und diese mit λ, d. i. $\frac{0,509584}{\sqrt{m}}$; also im Falle von $m = 10$ mit 0,16115 zu multipliciren.

Es würden sich noch viele nützliche Bestimmungen über die Wahrscheinlichkeitsverhältnisse der Fehler hinzufügen lassen; aber diess würde hier zu weit führen.

I. Fechner. (Oct. 1857 — Juli 1858.)

Stirn: Neun quere Distanzen. Einheit 1 d. Gesammtzahl der Beob. 900, vertheilt auf 100 Tage à 9 Beobachtungen.

Die Distanzen werden folgends in doppelter Bestimmung gegeben, als D, wie sie der Spannweite des auf die Haut aufgesetzten Zirkels direct entsprechen, als D', wie sie der wirklichen Länge der in dieser Hautstrecke begriffenen Hautstrecke entsprechen. Da nämlich die Stirn etwas gekrümmt ist, so fällt beides nicht zusammen. Um die zu einander gehörigen Werthe von D und D' zu bestimmen, wurde ein Papierstreifen über die Stirn gelegt, und durch den Zirkel bei der Spannweite D Puncte in derselben markirt, deren Abstand dann gemessen wurde, nachdem der Streifen eben ausgebreitet worden. Aus mehreren solchen Bestimmungen wurde das Mittel genommen. Die Werthe waren:

$D =$	15	20	25	30	35	40	45	50	60
$D' =$	15	20	25,3	30,5	36	41,5	46,9	52,9	65,7

Die bei der letzten Distanz $D = 60$ oder $D' = 65,7$ erhaltenen Werthe der folgenden Tabellen können füglich ausser Acht bleiben,

*) Astronom. Jahrb. f. 1834. S. 293.

indem die grosse Abweichung derselben von den übrigen sehr wohl darauf geschoben werden kann, dass die Zirkelspitzen wegen der hier sehr erheblich werdenden Krümmung der Stirn sehr schief auf die Haut auftreffen, so dass die Beobachtungen hier mit den anderen so gut wie unvergleichbar werden. Daher sind die bei dieser Distanz erhaltenen Werthe in der Tabelle eingeklammert und bei der Ziehung der Totalsumme nicht mit zugezogen, welche also nur die Werthe bei den Distanzen bis $D = 50$ inclusiv befasst. Es konnte jeden Tag die Reihe der 9 Distanzon aus dem S. 354 angegebenem Grunde nur einmal durchlaufen werden.

$\Sigma\Delta$. ($m = 10$, $\mu = 5$).

D	15	20	25	30	35	40	45	50	(60)	Total
I. L	32,7	43,4	48,6	62,1	43,8	48,2	47,1	50,3	(77,6)	376,2
I. R	33,8	40,2	50,9	40,8	38,1	41,5	48,3	52,9	(73,2)	346,5
Summe	66,5	83,6	99,5	102,9	81,9	89,7	95,4	103,2	(150,8)	722,7

c.

D	15	20	25	30	35	40	45	50	(60)
I L	+ 0,89	+ 1,20	+ 0,94	+ 0,84	+ 1,14	+ 1,14	+ 0,61	+ 0,43	(+ 0,60)
I R	+ 0,11	+ 0,04	+ 0,24	+ 0,42	+ 0,17	− 0,10	+ 0,10	+ 0,25	(+ 0,62)

Man sieht von $D = 15$ bis $D = 20$ ein deutliches Ansteigen der Fehlersumme $\Sigma\Delta$ mit D, welches sogar für I L allein genommen bis $D = 30$ sehr genau proportional mit D vorschreitet, aber darüber hinaus kein deutliches Wachsthum mehr; sondern nur Unregelmässigkeiten, die sich bei weiterer Fortsetzung der Beobachtungen zum Theil noch ausgeglichen haben könnten. Bestimmt man den Mittelfehler als durchschnittlichen für die Beobachtungen bei den 6 Distanzen $D = 25$ bis $D = 50$, innerhalb deren merkliche Constanz (für I L und I R zusammengenommen) besteht, so findet man

$$\varepsilon = 0{,}921\ d; \quad \varepsilon_1 = 0{,}952\ d$$

dieser Werth ε_1 ist $= \frac{1}{26{,}3} D$ bei $D = 15$ und $\frac{1}{52{,}6}$ bei $D = 50$.

Der constante Fehler ist mit einer einzigen Ausnahme bei allen Distanzen in beiden Lagen positiv; aber, wie man sieht, bei der Lage I R (Fassung des Normalzirkels in der Rechten) überall kleiner als bei der Lage I L (Fassung in der Linken), was ein Beispiel für den nicht zu vernachlässigenden Einfluss der Fassungsweise der Zirkel ist; hingegen ist keine gesetzliche Abhängigkeit der constanten Fehler von der Grösse der Distanz bemerklich.

Für die Componenten q und $p + s$ des constanten Fehlers erhält man im Mittel für alle Distanzen unter Ausschluss von $D = 60$

$$q = + 0{,}372; \quad p + s = + 0{,}527.$$

Schon früher (1856 und 1857) habe ich ähnliche Versuchsreihen an der Stirn mit ähnlichen Resultaten angestellt, die ich übergehe, weil sie mit ungestielten Zirkeln und minder sorgfältiger Verhütung der Reizung der Stirnhaut angestellt waren.

II. Fechner. (Januar bis März 1859).

Linker Zeigefinger. Vorderglied, Volarseite, zwei Längsdistanzen $D = 5\,d$ und $D = 10\,d$. Im Ganzen 400 Beobachtungen an 20 Beobachtungstagen.

$$m = 10, \quad \mu = 5$$

	$\Sigma\Delta$		c	
D	$5\,d$	$10\,d$	$5\,d$	$10\,d$
I U	7,28	6,14	0,000	−0,240
II U	8,52	9,02	−0,230	−0,296
I O	7,18	8,50	+0,054	−0,272
II O	8,18	8,30	−0,292	−0,444
Summe	31,16	31,96	—	—

Hier zeigt sich die Fehlersumme $\Sigma\Delta$ fast unverändert bei verdoppelter Distanz. ε_1 im Mittel aus allen Beobachtungen $0{,}163\,d$.

Die Berechnung der Componenten des constanten Fehlers giebt folgendes Resultat:

D	5	10
p	+ 0,146	+ 0,057
q	+ 0,002	− 0,045
s	− 0,117	− 0,313
s_1	− 0,146	− 0,342
s_1	− 0,088	− 0,284
W	0,00963	0,00994

Man sieht hier die Componente s von bemerkenswerther Grösse und bei $D = 10\,d$ in den Doppelwerthen so nahe stimmend, als man es bei der verhältnissmässig geringen Zahl Beobachtungen erwarten kann, wogegen bei $D = 5\,d$ keine sonderliche Uebereinstimmung von s_1 und s_2 in den absoluten Werthen besteht, indess die immer noch beträchtliche Grösse und Uebereinstimmung des Vorzeichens von s_1 und s_2, so wie geringe Grösse des nach

der Regel S. 351 berechneten wahrscheinlichen Fehlers 0,00994 beweist, dass doch auch hier der Fehler s wirklich besteht. Nur der Fehler q bei $D = 5$ kann überhaupt hienach durch Zufälligkeiten erklärt werden.

III. Volkmann (April 1857).

Mittelfinger, Vorderglied, Volarseite, vier Längsdistanzen. Einheit 1 Millimeter. Ohne Rücksicht auf besondere Zeit- und Raumlage. 264 Beobachtungen.

$m = 33$, $\mu = 2$.

D	2	4	6	8
$\Sigma\Delta$	6,68	9,13	12,70	14,13
c	+0,045	+0,131	+0,012	−0,018
ε_1	0,102	0,140	0,194	0,216

Das Wachsthum von $\Sigma\Delta$ oder ε_1 mit den Distanzen war also viel bedeutender als bei mir in Reihe II, aber doch auch bei Weitem nicht proportional mit D.

IV. Volkmann (Jan. und Febr. 1858).

Linker Handrücken, vier quere Distanzen. Einheit 1 pariser Linie. Application der Zirkel durch einen Gehülfen ohne Rücksicht auf besondere Zeit-Raumlage. 480 Beobachtungen.

$m = 20$, $\mu = 6$.

D	6	12	18	24
$\Sigma\Delta$	67,2	60,8	86,8	83,1
c	+0,45	+0,47	+0,37	+0,31
ε_1	0,569	0,515	0,735	0,704

V. Fechner (Nov. 1857 bis April 1858).

Fünf Finger der linken Hand, Vorderglied, Volarseite, auf jedem Finger 1 Längsdistanz = 10 d. Im Ganzen 6400 Beobachtungen, vertheilt auf 64 Beobachtungstage à 100 Beobachtungen.

An jedem Tage alle 5 Finger in zwei Zeit-Raumlagen mit 20 Beobachtungen (10 für eine Lage) durchlaufen.

Es bedeutet folgends 𝔇 Daumen, 𝔷 Zeigefinger, 𝔐 Mittelfinger, 𝔊 Goldfinger, 𝔎 kleiner Finger.

Diese Reihe ist im Zusammenhange mit einer Reihe nach der Methode der Aequivalente an denselben 5 Fingern angestellt, so dass die Methode der mittleren Fehler und die der Aequivalente nach je zwei Tagen wechselten. Hier sind blos die Resultate nach der Methode der mittleren Fehler ange-

führt; da es für jetzt zu weit führen würde, auch die der anderen Methode zu berücksichtigen.

$m = 10$, $\mu = 32$.

$D = 10\,d$		𝔇	𝔍	𝔐	𝔊	𝔎
$\Sigma \Delta$	I U	77,92	67,54	67,36	78,80	74,94
	II U	80,70	65,34	73,54	69,14	75,00
	I O	68,56	54,68	68,03	68,40	71,40
	II O	76,00	64,54	63,34	70,26	71,92
Summe		303,18	252,10	272,27	286,60	293,26
c	I U	−0,0557	−0,0882	−0,0075	+0,0625	−0,0438
	II U	−0,1700	−0,0953	−0,2066	−0,2766	−0,2582
	I O	−0,2691	−0,3950	−0,2222	−0,1641	−0,2432
	II O	−0,3700	−0,3310	−0,3779	−0,3816	−0,4303
ε'		0,2448	0,2035	0,2198	0,2313	0,2367
p		+0,0538	−0,0142	+0,0887	+0,1392	+0,1002
q		+0,1034	+0,1356	+0,0965	+0,0829	+0,0929
s		−0,2162	−0,2274	−0,2036	−0,1899	−0,2439
s_1		−0,2128	−0,2096	−0,1927	−0,2204	−0,2508
s_2		−0,2196	−0,2452	−0,2144	−0,1596	−0,2370
W		0,00579	0,00514	0,00520	0,00548	0,00560

Hienach findet die grösste Fehlersumme 303,18 beim Daumen, die kleinste 252,10 beim Zeigefinger statt, der also die grösste Unterschiedsempfindlichkeit unter den 5 Fingern zeigt.

Der wegen des endlichen m corrigirte Mittelfehler ε_1 ist im Mittel aller 5 Finger bei allen Lagen $= 0{,}2272\,d = \frac{1}{44}\,D$. Der constante Fehler c ist mit einer einzigen Ausnahme bei allen Fingern in allen Lagen negativ, was von der grossen negativen Componente s abhängt, wogegen p, q sich positiv finden, mit Ausnahme von p bei 𝔍, eine Ausnahme, die um so auffälliger ist, als sie in Reihe II und VI unter ähnlichen Versuchsumständen am Zeigefinger nicht stattfindet. Bei 𝔍 und 𝔊 stimmen die Doppelwerthe von s nicht zum besten, bei den drei anderen Fingern aber sehr gut. Der wahrscheinliche Fehler W von p, q, s ist überall zu klein, um dieselben als auf Zufall beruhend anzusehen.

Im Mittel für alle fünf Finger hat man

$$p = +\,0{,}0735$$
$$q = +\,0{,}1023$$
$$s = -\,0{,}2160$$

wonach das Resultat der constanten Fehler im Mittel für alle Beobachtungen an allen 5 Fingern dieses ist.

Wenn ich den Normalzirkel mit der Spannweite 10 d zuerst, den Fehlzirkel zuzweit applicirte, fiel vermöge dieses Einflusses der Zeitlage die Fehldistanz um + 0,0735 d zu gross aus, oder ward statt der Normaldistanz 10 die Fehldistanz 10,0735 gefunden. Wenn der Normalzirkel zuzweit applicirt wurde, so fiel die Fehldistanz um eben so viel zu niedrig aus, oder ward statt 10 erhalten 9,9265, was mit dem vorigen Resultate solidarisch ist.

Wenn der Normalzirkel mit dem unteren Theile, der Fehlzirkel mit dem oberen Theile der Hand (vgl. S. 150) gefasst wurde, so fiel die Fehldistanz um 0,1023 zu gross, im umgekehrten Falle zu niedrig aus.

Abgesehen von diesem Einflusse der Zeit- und Raumlage fiel die Fehldistanz aus dem S. 140 angegebenen Grunde um 0,2160 zu niedrig aus.

Diese drei Einflüsse combiniren sich additiv oder subtractiv, je nachdem sie in demselben Sinne oder in entgegengesetztem Sinne sind. Alle drei sind in demselben Sinne bei II. O, daher die dazu gehörigen Werthe c durchschnittlich die grössten, wogegen bei I. U der grosse Fehler s durch die gemeinsame Entgegensetzung von p und q am meisten compensirt wird, daher hier die kleinsten Werthe c.

Der obigen Berechnung der reinen Fehlersummen liegt die von mir gewöhnlich angewandte Fractionirung auf $m = 10$ unter. Um aber den Einfluss zu zeigen, den nach Th. I. S. 124 die mehr oder weniger weit getriebene Fractionirung auf die Grösse der reinen Fehlersumme hat, ist die vorige Beobachtungsreihe ausserdem auch unter Anwendung von $m = 160$, und endlich ganz unfractionirt für jeden Finger und jede Lage, d. i. aus $m = 320$, berechnet worden. Das für alle 4 Lagen zusammengezogene Resultat stellt sich mit dem vorhin erhaltenen wie folgt zusammen.

$\Sigma\Delta$.

	D	Z	M	G	K	Summe
$m=10, \mu=128$	303,18	252,10	272,27	286,60	293,26	1407,41
$m=160, \mu=8$	350,64	285,91	315,51	337,34	336,88	1626,29
$m=320, \mu=4$	354,76	291,19	320,24	345,34	349,25	1660,78

Man sieht hier ausnahmslos die Grösse von $\Sigma\Delta$ mit der Grösse des angewandten m wachsen.

Die von mir angewendete Correction wegen des endlichen m durch Multiplication der Werthe mit $\frac{3m+1}{3m}$ hebt blos den schwä-

cheren Theil dieses Wachsthumes, indem dasselbe nachweislich hauptsächlich auf der Variation der constanten Fehler im Laufe der langen Versuchsreihe beruht, welche beim Zusammenschlagen vieler zu verschiedenen Zeiten gewonnener Beobachtungen in eine Fraction die daraus abgeleitete Fehlersumme vergrössert, daher der Vorzug, den ich kleineren Fractionen aus Beobachtungen, die im Zusammenhange gewonnen sind, gebe; indem die Correction wegen des endlichen m nach Massgabe zulänglicher werden muss, als dieser der reinen Fehlersumme an sich fremdartige Zuwachs wegfällt. Dass wirklich eine Variation des constanten Fehlers im Laufe der Beobachtungsreihe stattgefunden, ergiebt sich aus der unten folgenden Anführung für die zwei nach der Zeit unterschiedenen Hauptfractionen der Beobachtungsreihe.

In Th. I. S. 213 habe ich gelegentlich bemerkt, dass, wenn man die mit der doppelten Fehlerzahl multiplicirte Summe der Fehlerquadrate $\Sigma(\Delta^2)$ mit dem Quadrate der Fehlersumme $(\Sigma\Delta)^2$ dividirt, approximativ die Ludolf'sche Zahl π erhalten wird, welche approximative Zahl $\mathfrak{P}$ heisse, so dass man hat

$$\mathfrak{P} = \frac{2m\Sigma(\Delta^2)}{(\Sigma\Delta)^2}$$

wenn m die in die Summe eingehende Fehlerzahl (bei $\mu = 1$) ist. Unsere Reihe kann als Beispiel dienen. Ich gebe für Daumen unter Anwendung von $m = 160$, $\mu = 1$ (indem ich die 320 betragende Gesammtzahl der Beobachtungen für jede Lage in zwei Fractionen nach der Zeit theilte, und für jede besonders $\Sigma\Delta$ und $\Sigma(\Delta^2)$ bestimmte) den Werth von $\Sigma\Delta$ und $\Sigma(\Delta^2)$ mit dem daraus nach obiger Formel berechneten $\mathfrak{P}$ in folgender Tabelle.

$m = 160$, $\mu = 1$.

	$\Sigma\Delta$	$\Sigma(\Delta^2)$	$\mathfrak{P}$
I U. 1. Fract.	43,97	18,75	3,103
2. -	42,16	16,52	2,974
II U. 1. -	42,91	17,56	3,052
2. -	46,23	21,87	3,275
I O. 1. -	49,24	25,48	3,363
2. -	40,86	17,62	3,377
II O. 1. -	48,28	21,14	2,902
2. -	36,99	15,11	3,534
Summe	350,64	154,05	25,580

Das Mittel der 8 $\mathfrak{P}$-Werthe ist 3,198. Die entsprechend berechneten Mittelwerthe für alle 5 Finger waren:

𝔗.	𝔍.	𝔐.	𝔊.	𝔎.
3,198;	3,183;	3,072;	3,144;	3,145

Das Totalmittel aus diesen 5 Mittelwerthen, wozu also im Ganzen 40 Werthe 𝔓, jeder aus 160 Beobachtungen bestimmt, beigetragen haben, ist

3,148

was vom Normalwerthe $\pi = 3,142$ bis auf die letzte, durch Abrundungen unsichere, Decimale völlig übereinkommt.

Hieraus lässt sich leicht das constante Verhältniss

$$\frac{\varepsilon_q}{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\pi}{2}}$$

ableiten, wovon Th. I. S. 123 die Rede war.

Des Weiteren bemerke ich gelegentlich, dass man approximativ die Grundzahl der natürlichen Logarithmen e erhält, wenn man die Totalsumme der Fehler $\Sigma\varDelta$ mit der Summe der Fehler, welche den quadratischen Mittelfehler $\varepsilon_q = \sqrt{\frac{\Sigma(\varDelta^2)}{m}}$ an Grösse übersteigen, dividirt, und den Quotienten zum Quadrate erhebt. Das, hienach entsprechend wie oben das Totalmittel von 𝔓 aus 40 Partialwerthen (à $m = 160$) berechnete, Totalmittel fand sich 2,707 statt des Normalwerthes $e = 2,728$.

Obwohl ich nicht finde, dass diese merkwürdigen Verhältnisse schon ausdrücklich bemerkt worden wären, lassen sie sich doch mit manchen anderen interessanten Verhältnissen leicht aus der mathematischen Fehlertheorie mittelst des für die Wahrscheinlichkeit der Fehler geltenden bekannten Ausdruckes, in welchen π und e eingehen, ableiten, was für den, in dieser Theorie Bewanderten keiner besonderen Ausführung bedürfen wird; übrigens anderwärts von mir mit weiteren Versuchsbelegen dargelegt werden soll. Die angegebenen Verhältnisse π, e gelten streng für eine unendliche Zahl unter vergleichbaren Umständen gewonnener Fehler und schwanken bei wiederholter Bestimmung aus einer endlichen Zahl, wie man sich aus obigem Beispiele mit 8 Bestimmungen von 𝔓 überzeugen kann, um das Normalverhältniss, eine Schwankung, die in um so weiteren Gränzen statthat, je kleiner m ist. Nur bei sehr kleinem Werthe m stellt sich im Mittel vieler Bestimmungen eine merkliche Abweichung vom Normalwerthe heraus, welche mit der Kleinheit von m wächst, und bei etwas grossem m verschwindend klein ist. Diese Abweichung lässt sich nach der Correction der Fehlerquadratsumme und des Quadrates der Fehlersumme wegen des endlichen m durch einen allgemeinen Ausdruck bestimmen; wonach ein aus einer endlichen Zahl m abgeleitetes 𝔓 normalerweise

$$= \frac{m\,(m-1)\,\pi^3}{(m\pi-1)^2} \text{ statt } = \pi$$

ist, was z. B. für $m = 10$ giebt $𝔓 = 3,0166$.

Im Laufe der langen mehrmonatlichen Beobachtungsreihe nahm sowohl der variable als constante Fehler allmälig ab. Theilt man die ganze Reihe in zwei Hauptfractionen nach der Zeit (jede zu 32 Beobachtungstagen), so erhält man in Summa für alle 4 Lagen:

$\Sigma\Delta$ ($m = 160$, $\mu = 4$).

	D	Z	M	G	K	Summe
1. Fract.	154,94	134,56	150,12	159,26	161,28	760,16
2. -	148,24	117,54	122,15	127,34	131,98	647,25
Verhältniss	1,045	1,119	1,229	1,253	1,194	1,175

Im Ganzen also hatte sich die reine Fehlersumme von der 1. zur 2. Fraction von 760,16 auf 647,25 vermindert; welche Zahlen das Verhältniss 1,175 haben.

Ferner fanden sich die Componenten des constanten Fehlers im Mittel für alle 5 Finger wie folgt:

	1. Fract.	2. Fract.
p	+0,1006	+0,0465
q	+0,1260	+0,0785
s	+0,2281	+0,1942

Der Zeitfehler p und Raumfehler q hatten sich also von der ersten zur zweiten Fraction sehr beträchtlich, der Fehler s doch merklich vermindert. Eine solche Aenderung hatte nun aber nicht blos von der ersten zur zweiten Hauptfraction, sondern innerhalb jeder Hauptfraction stattgefunden, und bei Zusammenfassung der Beobachtungen derselben zu $m = 160$ den variabeln Fehler vergrössert.

Bei den ungefähr 1 Stunde dauernden Beobachtungen jedes Tages wurden abwechselnd mit den Tagen die Finger in der Ordnung D. Z. M. G. K. und in der umgekehrten Ordnung durchlaufen, wovon Ersteres mit →, Letzteres mit ← bezeichnet werde. Bei → war die Aufmerksamkeit am frischesten beim Daumen, am meisten ermüdet beim kleinen Finger; bei ← war es umgekehrt. Es schien mir von Interesse, den hieraus hervorgehenden Einfluss zu untersuchen, welcher, wie man aus Folgendem sieht, nicht gross, doch sichtbar ist. Ich erhielt nämlich in Summa für alle 4 Lagen:

$\Sigma\Delta$ ($m = 10$, $\mu = 64$)

	D.	Z.	M.	G.	K.
→	148,56	128,20	136,22	152,24	151,32
←	154,62	123,90	136,05	134,36	141,94

Mit der wachsenden Uebung verkürzte sich allmälig, bis zu einer gewissen Gränze, die Beobachtungszeit, welche für die 100 Versuche jedes Tages erfoderlich war; indem man allmälig dahin kommt, die Entscheidung bei jedem Versuche schneller zu fällen, als anfangs. Dass diese grössere Schnelligkeit doch keine grössere Ungenauigkeit in der Schätzung mitführte, beweist sich daraus, dass vielmehr umgekehrt, im Fortschritte der Beobachtungsreihe, die Fehlersummen sich verkleinerten. Aber auch, wenn ich aus derselben Versuchsperiode die Fehlersummen der Tage mit der grössten und kleinsten Versuchsdauer vergleiche, finde ich keinen in Betracht kommenden Unterschied zwischen beiden. Manchen Tag kann man gar nicht fertig mit wiederholten Applicationen der Zirkel werden, ehe man sich entscheidet, anderemale ist man durchschnittlich viel schneller mit dem Urtheile fertig; aber die langsamsten Entscheidungen sind nicht immer die besten. Hier folgen noch einige Data über diese Verhältnisse.

Ich habe die Versuchsdauer nicht vom Anfange der Beobachtungsreihe herein, welche vom 21. Nov. 1857 bis 6. April 1858 dauerte, und auch später nicht an allen Tagen, aber an 32 verschiedenen Tagen vom 3. Jan. an bestimmt; und im Mittel 63,6 Min. gefunden. Wenn ich aber die Beobachtungsreihe vom 3. Jan. bis zum Schlusse in 4 gleiche Abtheilungen von 24 Tagen theile, so wurden folgende mittlere Beobachtungszeiten darin gefunden:

1. Abtheil.	71,8 Min.	(Mittel	aus	4	Bestimmungen)	
2. -	67,3 -	-	-	8	-	)
3. -	60,4 -	-	-	10	-	)
4. -	60,5 -	-	-	10	-	)

wonach der Fortschritt der Verkürzung vom Anfange herein beträchtlich war, später zum Stillstande kam.

Die Beobachtungszeit schwankte überhaupt von 53 bis 76 Minuten. Ich stellte nun unter Ausschluss der früheren Periode, wo alle Beobachtungszeiten verhältnissmässig gross sind*), aus der letzten Zeit vom 17. Febr. bis 6. April, wo grössere und kleinere Zeiten unregelmässig wechseln, die Fehlersummen für die Tage mit den 5 kleinsten Versuchsdauern (53, 54, 55, 56, 58 Min.) und

*) Diese Beobachtungen mit den späteren zu vergleichen würde nicht statthaft gewesen sein, weil die späteren wegen fortgeschrittener Uebung kleinere Zahlen geben.

mit den 5 grössten Versuchsdauern 64, 64, 65, 66, 68 Min.) zusammen; und erhielt aus ersteren in Summa für alle Finger und alle Lagen (mit $m = 10$, $\mu = 50$) $\Sigma\Delta = 1009{,}4$, aus letzteren 995,6, was nur ganz unerheblich abweicht.

VI. Fechner (Oct. 1858 bis Jan. 1859).

Linker Zeigefinger, Vorderglied, Volarseite, 1 Längsdistanz = 10 *d*. Im Ganzen 1200 Versuche in 40 Versuchstagen, à 30 Beobachtungen.

Diese Versuche theilen sich in drei, je 400 Beobachtungen enthaltende, Hauptabtheilungen nach der Applicationsweise der Zirkel.

α) Application der Zirkel auf meinen Finger durch einen Gehülfen. Beobachter und Gehülfe sitzen sich gegenüber, der Gehülfe stützt den Arm, welcher den Zirkel applicirt, festeren Haltes wegen, auf den Tisch.

β) Selbstapplication der Zirkel mit der rechten Hand auf den linken Zeigefinger.

γ) Die Zirkel in verticaler Lage neben einander in eine Schraubenzwinge eingespannt, und der Finger von einem zum anderen bewegt. Beide Zirkeldistanzen sind nahe an einander, einander parallel, senkrecht gegen die Vorderfläche des Körpers *A B* wie folgt angebracht:

```
                b .     . d
                a .     . c
    A———————————————————————————B
```

wo *a*, *b* die Spitzen des einen, *c*, *d* die des anderen Zirkels bedeuten, und zwar wurde (nach Tagen wechselnd) die Normaldistanz einmal rechts (R.), das anderemal links (L.) genommen, worauf sich hier die Raumlage bezieht, indess bei *α*) und *β*) die Raumlage (O. und U.) auf obere und untere Fassung des Zirkels geht. Jeden Tag 3 Versuchssätze à 10 Beobachtungen hinter einander respectiv für *α*, *β*, *γ* angestellt, *α* aus äusseren Gründen stets zuerst, indess *β*, *γ* mit der zweiten und dritten Stelle wechselten.

Die Lagen sind mit eingeklammerten Ziffern wie folgt bezeichnet:

	(1)	(2)	(3)	(4)
bei *α* und *β*	I U	II U	I O	II O
bei *γ* . . .	I L	II L	I R	II R

$m = 10, \mu = 10.$

		(1)	(2)	(3)	(4)	Summa
$\Sigma\Delta$	α	19,18	16,64	15,68	19,12	70,62
	β	12,66	14,00	13,08	12,74	52,48
	γ	10,70	12,54	11,50	12,65	47,39
Summa		42,54	43,18	40,26	44,51	170,49
c	α	−0,107	+0,096	−0,086	+0,154	
	β	−0,178	−0,366	−0,266	−0,422	
	γ	−0,330	−0,306	−0,102	−0,216	

	p	q	s	s_1	s_2	W
α	−0,111	−0,020	+0,014	+0,023	+0,005	0,00771
β	+0,086	+0,036	−0,308	−0,300	−0,316	0,00574
γ	+0,023	−0,077	−0,239	−0,273	−0,204	0,00519

	ε	ε_1
α	0,1766	0,1794
β	0,1312	0,1311
γ	0,1185	0,1178

Der Werth ε_1 ist hier aus dem Werthe ε durch Correction nicht nur wegen des endlichen m, sondern auch wegen der Grösse der Intervalle durch Multiplication von ε mit $\frac{31}{30}\left(1 - \frac{0,00053}{\varepsilon^2}\right)$ abgeleitet, indess bei den früheren Reihen I bis VI die Correction wegen der Intervalle nicht angebracht ist.

Man sieht, dass die Applicationsweise der Zirkel α, d. i. durch einen Gehülfen, bei Weitem die grösste Fehlersumme $\Sigma\Delta$ und demgemäss die grössten Werthe ε_1 geliefert hat; was davon abhängt, dass eine fremde Hand die Zirkel nicht so gleichförmig zu appliciren vermag, als man es selbst kann, und was beweist, wie viel zur Vergleichhaltung der Werthe auf Vergleichbarkeit der Manipulation bei den Versuchen ankommt. β und γ weichen nicht sehr von einander ab, doch ist γ noch etwas vortheilhafter als β. Der mittlere Fehler ε_1 beträgt bei γ nur 0,1178 d, d. i. $\frac{1}{85}$ D.

Während der variable Fehler bei α) am grössten ist, sind die constanten Fehler c bei α) am kleinsten, und q, s so klein, dass namentlich s allenfalls auf Zufall geschoben werden könnte, da W bis über die Hälfte von s reicht. Die Doppelwerthe s_1, s_2 stimmen bei β) sehr gut, bei α) und γ) schlecht. Diess ist bei α) nicht befremdend, da s hier fast verschwindet. Nimmt man statt dessen die Doppelwerthe der grössten Componente, welche hier p ist, so findet man $p = -0,0995$ und $p_2 = -0,1150$, was ganz leidlich stimmt.

Theilt man die ganze Reihe in zwei Fractionen nach der Zeit, so findet man in Summa für die 4 Lagen:

$\Sigma\Delta$ ($m = 10$, $\mu = 20$).

	α	β	γ
1. Fract.	33,10	25,56	23,18
2. -	37,50	26,92	24,21

Man kann bemerken, dass die Werthe sowohl von $\Sigma\Delta$ als c für den Zeigefinger in Reihe II und Reihe V, obgleich in derselben Weise, nur zu anderer Zeit und in anderem Zusammenhange als die Werthe in dieser Reihe nach β) gewonnen, doch sehr davon abweichen, was ein Beispiel ist, dass man Versuche, unter gleichen Umständen zu verschiedenen Zeiten angestellt, wo Uebung und andere Umstände die Empfindlichkeit abgeändert haben können, und ein anderes Spiel von Zufälligkeiten stattfinden kann, nicht vergleichbar halten darf.

An sich kann es einiges Interesse haben, wenn ich hier das vollständige Verzeichniss der, in den einzelnen Versuchsfractionen à $m = 10$ erhaltenen c-Werthe in Reihe α beifüge, insofern man daraus ersieht, wie selbst unter Umständen, welche den constanten Fehler möglichst verkleinern, doch der Charakter der Constanz sich im Vorzeichen noch geltend macht. Zur Unterlage für die folgenden Berechnungen füge ich aber auch noch das Verzeichniss für die beiden anderen Reihen bei.

Werthe von c in Reihe α für die einzelnen Fractionen à $m = 10$.

	c_1	c_2	c_3	c_4
	−0,22	−0,04	−0,02	+0,10
	−0,16	+0,08	−0,10	+0,07
	−0,14	+0,12	−0,03	+0,25
	−0,06	+0,21	−0,16	+0,10
	−0,11	+0,16	−0,20	+0,11
	−0,07	+0,07	+0,04	+0,11
	−0,20	+0,11	−0,13	+0,16
	−0,07	+0,09	−0,18	+0,25
	−0,04	+0,08	−0,06	+0,18
	−0,00	+0,08	−0,02	+0,21
Mittel	−0,107	+0,096	−0,086	+0,154

Entsprechende Werthe von c in Reihe β.

c_1	c_2	c_3	c_4
−0,40	−0,43	−0,25	−0,49
−0,17	−0,39	−0,26	−0,33

	c_1	c_2	c_3	c_4
	−0,27	−0,55	−0,40	−0,54
	−0,21	−0,48	−0,30	−0,41
	−0,12	−0,13	−0,30	−0,56
	−0,09	−0,37	−0,27	−0,57
	−0,08	−0,36	−0,37	−0,46
	−0,26	−0,21	−0,33	−0,46
	+0,04	−0,25	−0,13	−0,14
	−0,22	−0,49	−0,05	−0,26
Mittel	−0,178	−0,366	−0,266	−0,422

Entsprechende Werthe von c in Reihe γ.

	c_1	c_2	c_3	c_4
	−0,55	−0,24	−0,11	−0,19
	−0,50	−0,27	−0,26	−0,30
	−0,56	−0,38	−0,24	+0,01
	−0,37	−0,22	−0,25	−0,36
	−0,35	−0,34	−0,07	−0,22
	−0,15	−0,47	−0,08	−0,14
	−0,17	−0,18	−0,03	−0,09
	−0,39	−0,42	−0,12	−0,28
	−0,04	−0,32	+0,09	−0,26
	−0,22	−0,22	+0,05	−0,33
Mittel	−0,330	−0,306	−0,102	−0,216

Von der Reihe α mag auch das Verzeichniss der Fehlersummen in den einzelnen Fractionen à $m = 10$ gegeben werden.

Fractionswerthe $\Sigma\Delta$ ($m = 10$, $\mu = 1$) in Reihe α.

	I U.	II U.	I O.	II O.
	1,64	0,56	0,88	1,60
	2,12	2,12	1,00	1,10
	1,48	1,88	2,22	2,60
	1,60	1,90	1,96	1,60
	2,12	1,20	1,00	2,52
	1,70	1,50	1,80	2,32
	2,00	2,34	1,70	1,72
	1,84	1,50	1,40	1,90
	2,08	2,44	1,88	1,84
	2,60	1,20	1,84	1,92
Totalsumme	19,18	16,64	15,68	19,12

Berechnen wir nun den wahrscheinlichen Fehler w des constanten Fehlers sowohl aus $\Sigma\Delta$ als aus $\Sigma(\vartheta^2)$ mittelst der S. 349 und S. 352 gegebenen Formeln, indem wir $\mu = 10$ setzen, und

für $\Sigma\Delta$ die in der Tabelle gegebenen Werthe zu Grunde legen; $\Sigma(\vartheta^2)$ aber aus den Werthen der vorigen Tabellen bestimmen *), so finden wir **):

Werthe w.

	α		β		γ	
	nach $\Sigma\Delta$	nach $\Sigma(\vartheta^2)$	nach $\Sigma\Delta$	nach $\Sigma(\vartheta^2)$	nach $\Sigma\Delta$	nach $\Sigma(\vartheta^2)$
w_1	0,0164	0,0160	0,0111	0,0270	0,0093	0,0383
w_2	0,0145	0,0138	0,0122	0,0285	0,0110	0,0205
w_3	0,0137	0,0171	0,0114	0,0226	0,0100	0,0259
w_4	0,0167	0,0144	0,0111	0,0299	0,0111	0,0201

Hier sieht man, dass bei α) beide Bestimmungsweisen nahe stimmen; indess bei β und γ die Bestimmungsweise nach $\Sigma(\vartheta^2)$ mehr als doppelt so grosse Werthe liefert, als nach $\Sigma\Delta$, was ein beträchtliches Schwanken des constanten Fehlers beweist. Die Werthe W in Tabelle S. 364 sind nach $\Sigma\Delta$ berechnet.

Gelegentlich kann man sich überzeugen, dass die Berechnung nach $\Sigma\vartheta$ mittelst der Formel S. 352 kein erheblich abweichendes Resultat von der Berechnung nach $\Sigma(\vartheta^2)$ liefert. Um die Reihe β mit den stärksten Werthen c als Beispiel zu nehmen, so hat man

	w_1	w_2	w_3	w_4
nach $\Sigma(\vartheta^2)$	0,0270	0,0285	0,0226	0,0299
nach $\Sigma\vartheta$	0,0260	0,0284	0,0207	0,0303

Eine entsprechende Uebereinstimmung findet man auch sonst immer, wonach man, da Abweichungen dieser Ordnung für den Zweck dieser Bestimmungen nicht erheblich sind, nicht nöthig hätte, zu der umständlicheren Bestimmung von $\Sigma(\vartheta^2)$ zurückzugehen, sondern sich begnügen kann, auf $\Sigma\vartheta$ zurückzugehen***), wenn schon principiell die Bestimmung nach $\Sigma(\vartheta^2)$ ein wenig sicherer ist.

Die Tabelle der Fractionswerthe von $\Sigma\Delta$ auf S. 366 giebt Ge-

---

*) Man hat beispielsweise für Reihe α die 4 Werthe $\Sigma(\vartheta^2) = 0{,}050619$; 0,037840; 0,048040; 0,041440.

**) Die Berechnung nach $\Sigma\Delta$ kommt kurz darauf zurück, den Logarithmus 0,94128—4 zum Logarithmus von $\Sigma\Delta$ zu addiren, die Berechnung nach $\Sigma(\vartheta^2)$ darauf, den Logarithmus 0,85186—2 zum halben Logarithmus von $\Sigma(\vartheta^2)$ zu addiren, und beidesfalls die Zahl dazu zu nehmen.

***) Hiezu hat man bei unserer Reihe den Logarithmus 0,44128—2 zum Logarithmus von $\Sigma\vartheta$ zu addiren und die Zahl zu nehmen.

legenheit, die Regel zur Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers von $\Sigma\varDelta$ (vgl. S. 352 f.) zu bewähren. Von den 40 Fractionswerthen dieser Tabelle zeigen wirklich 20 eine geringere, 20 eine grössere Abweichung von ihren (für die 4 Lagen geltenden) vier Mitteln, als dem wahrscheinlichen Fehler entspricht, wenn er nach der angegebenen Regel berechnet wird. Für I. U ist nämlich 1,918 die mittlere Summe, das giebt, mit 0,161 multiplicirt, 0,309 als wahrscheinlichen Fehler. Nimmt man die Abweichungen der 10 Einzelsummen von 1,918, so findet man 7 kleiner, 3 grösser als 0,309; bei II. U entsprechend bestimmt sind 6 Abweichungen im Mittel kleiner, 4 grösser, als der wahrscheinliche Fehler, der hier 0,267 ist; bei I. O sind 3 kleiner, 7 grösser, bei II. O 4 kleiner, 6 grösser, als der wahrscheinliche Fehler; im Ganzen also 20 kleiner, 20 grösser. Bei den einzelnen Abtheilungen darf man wegen zu geringer Zahl der Fälle die Gleichheit zwischen der Zahl der kleineren und grösseren Werthe nicht erwarten.

1. Zusatz.

Herleitung der Correction wegen des endlichen m.

Die Aufgabe ist folgende: eine Reihe Fehler $\varDelta$, deren Totalzahl m, ist vom arithmetischen Mittel A der Beobachtungsgrössen an (bei den Tast- und Augenmassversuchen von der mittleren Fehldistanz an) gerechnet, d. h. als Differenzen der einzelnen beobachteten Grössen von A bestimmt worden, und hat die Fehlersumme $\Sigma\varDelta$ gegeben, worin alle Fehler, positive und negative, nach absolutem Werthe (wie positive) verrechnet sind. Aber die, aus m Beobachtungen abgeleitete, Mittelgrösse A ist nicht die wahre Mittelgrösse V, welche aus einer unendlichen Zahl Beobachtungen hervorgehen würde, und mithin die von der Mittelgrösse an gerechneten Fehler nicht die wahren Fehler. Die Summe der wahren Fehler $S\varDelta$ soll durch eine Correction aus der Summe der falschen $\Sigma\varDelta$ abgeleitet werden. Der Correctionsfactor, der sich hiebei für $\Sigma\varDelta$ ergiebt, ist dann eben so auf den falschen Mittelfehler $\varepsilon = \frac{\Sigma\varDelta}{m}$ anwendbar.

Nehmen wir zuerst an, die Grösse V—A, um welche die wahre Mittelgrösse V von der gefundenen A abweicht, sei bekannt. Sie heisse α, und man suche hienach die Beziehung zwischen $S\varDelta$ und $\Sigma\varDelta$.

α kann positiv oder negativ sein. Diesseitige falsche Feh-

ler nun sollen solche heissen, welche mit α gleiches Vorzeichen haben, jenseitige solche, welche ungleiches Vorzeichen damit haben. Dann hat man, um $\Sigma\varDelta$ in $S\varDelta$ zu verwandeln*):

1) Alle diesseitigen falschen Fehler, welche absolut grösser sind, als α, deren Zahl s und deren Summe $\mathfrak{S}$ sei, um den absoluten Werth von α zu verkleinern; giebt $\mathfrak{S}-s\alpha$.

2) Alle jenseitigen falschen Fehler, deren Zahl n und deren Summe $\mathfrak{N}$ sei, um den absoluten Werth α zu vergrössern; giebt $\mathfrak{N}+n\alpha$.

3) Für alle diesseitigen falschen Fehler, welche zwischen o und α liegen, deren Zahl z und deren Summe $\mathfrak{Z}$ sei, die Differenz derselben von α nach absolutem Werthe zu substituiren; giebt $z\alpha-\mathfrak{Z}$.

Also hat man:

$$S\varDelta = \mathfrak{S} + \mathfrak{N} - \mathfrak{Z} + (-s + n + z)\,\alpha.$$

Indem aber $\mathfrak{S} + \mathfrak{N} + \mathfrak{Z} = \Sigma\varDelta$ und $s + n + z = m$ geht dieser Ausdruck über in

$$S\varDelta = \Sigma\varDelta + (m - 2s)\,\alpha - 2\mathfrak{Z}$$

wobei α nach absolutem Werthe zu nehmen ist.

Die verlangte Correction wird gefunden sein, wenn wir für α, s und $\mathfrak{Z}$ bestimmte Werthe zu substituiren vermögen. Diess aber kann insofern geschehen, als wir die normale Fehlervertheilung voraussetzen, welche in der That bestimmte Werthe dafür finden lässt**).

Was nun α anlangt, so können wir nach derselben Betrachtungsweise, die auch zur Correction der Fehlerquadratsumme $\Sigma\varDelta^2$ wegen des endlichen m geführt hat***), setzen

$$\alpha = \frac{S\varDelta}{m\sqrt{m}}$$

Denn die Mittelgrösse der Beobachtung wird im Mittel durch 1

---

*) Nöthigenfalls kann man sich die folgenden Regeln 1) 2) 3) und die daraus gefolgerte Gleichung zwischen $\Sigma\varDelta$ und $S\varDelta$, auf die Alles ankommt, an einem willkührlich fabricirten Beispiele erläutern und bewähren, indem man eine Reihe Fehler willkührlich ansetzt, nur mit Rücksicht die Summe der positiven der Summe der negativen gleich zu nehmen, und eben so den Werth α willkührlich nimmt, da diese Regeln für jede Art Fehlervertheilung gelten.

**) Hiefür kann natürlich das willkührliche Beispiel nicht mehr dienen.

***) Vergl. Encke im astronom. Jahrb. für 1834. S. 282 f.

Beobachtung um $\frac{S\Delta}{m}$ falsch bestimmt, folglich durch m-Beobachtungen nach bekannter Wahrscheinlichkeitsregel um $\frac{S\Delta}{m\sqrt{m}}$ falsch.

Was s und $\mathfrak{Z}$ anlangt, so kann s als die Zahl der oberhalb α auf einer Seite liegenden, d. i. positiven oder negativen, Fehler durch

$$s = \frac{m}{2} \overset{\infty}{\underset{\alpha}{(\cdot)}}$$

gegeben angesehen werden, wenn $\overset{\infty}{\underset{\alpha}{(\cdot)}}$ die durch die bekannte Integraltabelle bestimmbare Wahrscheinlichkeit der Fehler bedeutet, die nach **beiden Seiten** (als positive **und** negative) oberhalb des absoluten Werthes α liegen. Von anderer Seite ist

$$\mathfrak{Z} = \frac{1}{2} \overset{\alpha}{\underset{o}{[\cdot]}} S\Delta$$

wenn $\overset{\alpha}{\underset{o}{[\cdot]}}$ den wie unten zu berechnenden Bruchtheil von der Totalsumme der Fehler $S\Delta$ bedeutet, welcher zwischen o und dem absoluten Werthe α **beiderseits** liegt.

Substituiren wir diese Ausdrücke für α, s und $\mathfrak{Z}$, so erhalten wir

$$S\Delta = \Sigma\Delta + \left(1 - \overset{\infty}{\underset{\alpha}{(\cdot)}}\right) \frac{\Sigma\Delta}{\sqrt{m}} - \overset{\alpha}{\underset{o}{[\cdot]}} S\Delta$$

mithin, unter Substitution von

$$\overset{\alpha}{\underset{o}{(\cdot)}} \text{ für } 1 - \overset{\infty}{\underset{\alpha}{(\cdot)}}$$

$$S\Delta = \frac{\Sigma\Delta}{1 - \overset{\alpha}{\underset{o}{(\cdot)}} \frac{1}{\sqrt{m}} + \overset{\alpha}{\underset{o}{[\cdot]}}}$$

Nun gilt es noch, $\overset{\alpha}{\underset{o}{(\cdot)}}$ und $\overset{\alpha}{\underset{o}{[\cdot]}}$ in Zahlen zu bestimmen. Diess kann für jeden Werth von m **genau** geschehen, Ersteres nach der Integraltabelle*) für die Wahrscheinlichkeit oder relative Zahl der Fehler zwischen den Grössengränzen o und α; Letzteres nach dem Ausdrucke für die verhältnissmässige Fehlersumme zwischen den Grössengränzen der Fehler o und α, welcher giebt:

*) Astronom. Jahrb. f. 1834. S. 305 ff.

$$\overset{\alpha}{\underset{0}{[\cdot]}} = 1 - e^{\frac{1}{-\pi m}}$$

wenn e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen, π die Ludolf'sche Zahl*).

Hienach lässt sich eine Tabelle berechnen, worin der Correctionsfactor scharf für jeden Werth von m gegeben ist. Das Bruchstück einer solchen Tabelle folgt unten, wonach er bei $m = 10$ statt $\frac{31}{30} = 1{,}033333$ streng genommen $1{,}0326699$ wäre, welcher Unterschied doch, wie man sieht, zu vernachlässigen ist. Um aber einen für jedes m anwendbaren allgemeinen Correctionsfactor zu erhalten, hat man die Werthe $\overset{\alpha}{\underset{0}{(\cdot)}}$ und $\overset{\alpha}{\underset{0}{[\cdot]}}$ nach ihrem allgemeinen Ausdrucke in unendliche Reihen zu entwickeln und nur das erste Glied beizubehalten, was, wie sich unten zeigt, vollkommen genügt. Nun hat man, wenn kurz gesetzt wird $\frac{\alpha}{\varepsilon_1} = u$, und $\varepsilon_1 = \frac{S\varDelta}{m}$, allgemein für jeden Werth α

$$\overset{\alpha}{\underset{0}{(\cdot)}} = \frac{2}{\pi}\left(\frac{u}{1} - \frac{u^3}{3\pi} + \ldots\right)$$

$$\overset{\alpha}{\underset{0}{[\cdot]}} = \frac{u}{\pi}\left(u - \frac{u^3}{2\pi} + \ldots\right)$$

Da aber hier $\alpha = \frac{\varepsilon_1}{\sqrt{m}}$, so ist $u = \frac{1}{\sqrt{m}}$.

Berücksichtigt man blos das erste Glied beider Ausdrücke, so erhält man hienach

$$S\varDelta = \frac{\pi m}{\pi m - 1}\,\Sigma\varDelta$$

wofür sich mit hinreichender Approximation setzen lässt

---

*) Man hat nämlich zunächst für jeden beliebigen Werth von α

$$\overset{\alpha}{\underset{0}{[\cdot]}} = \frac{2h}{S\varDelta\sqrt{\pi}}\int_0^\alpha \varDelta e^{-h^2\varDelta^2}\, d\varDelta$$

wo h das Mass der Präcision. Nach einer bekannten Gleichung aber ist $h = \frac{1}{\varepsilon\sqrt{\pi}} = \frac{m}{S\varDelta\sqrt{\pi}}$, wenn ε der einfache Mittelfehler. Substituirt man diesen Werth für h, und setzt $\alpha = \frac{\varepsilon}{\sqrt{m}} = \frac{S\varDelta}{m\sqrt{m}}$, so findet man durch Integration obige Gleichung.

$$\frac{3m}{3m-1}\,\Sigma\varDelta \text{ oder } \frac{3m+1}{3m}\,\Sigma\varDelta$$

wovon Letzteres sich, wie man aus folgender Tabelle sieht, noch etwas mehr als Ersteres an die ganz scharfe Correction anschliesst.

Hier folgt schliesslich eine kleine Tabelle, welche den Correctionsfactor $\Sigma\varDelta$ für einige Werthe von m sowohl nach der ganz scharfen Berechnung mit Rückgang auf die beigefügten Werthe von $\overset{\alpha}{\underset{0}{(\cdot)}}$ und $\overset{\alpha}{\underset{0}{[\cdot]}}$, als nach den verschiedenen Approximationen giebt, woraus man ersieht, dass, selbst wenn man bis zu kleinsten Werthen m herabgeht, die Correction $\frac{3m+1}{3m}$ sich ganz unerheblich von der ganz scharfen unterscheidet, auf die, oder auch nur auf $\frac{m\pi}{m\pi-1}$ zurückzugehen, sonach ganz überflüssig sein würde. Zugleich ist der Correctionsfactor für den quadratischen mittleren Fehler $\varepsilon_q = \sqrt{\frac{\Sigma(\varDelta^2)}{m}}$ nach der schon bekannten Correctionsweise beigefügt, woraus man sieht, dass dieser Factor überall grösser als für $\Sigma\varDelta$ und mithin für $\varepsilon = \frac{\Sigma\varDelta}{m}$ ist.

Correctionsfactor für $\Sigma\varDelta$ und ε.							für ε_q
m	$\frac{3m}{3m-1}$	$\frac{3m+1}{3m}$	$\frac{m\pi}{m\pi-1}$	scharfe Corr.	$\overset{\alpha}{\underset{0}{(\cdot)}}$	$\overset{\alpha}{\underset{0}{[\cdot]}}$	$\sqrt{\frac{m}{m-1}}$
2	1,20000	1,16667	1,189318	1,183515	0,4273712	0,1471351	1,4142
3	1,12500	1,11111	1,118697	1,116404	0,3549580	0,1006682	1,2248
.							
.							
10	1,03448	1,03333	1,032889	1,032699	0,1992010	0,0313296	1,0541
20	1,01695	1,01667	1,016173	1,016139	0,416010	0,0157896	1,0260
30	1,01123	1,01111	1,010724	1,010702	0,1158224	0,0105573	1,0171
.							
50	1,00671	1,00667	1,006407	1,006400	0,0898408	0,0063460	1,0101
.							
.							
100	1,00334	1,00333	1,003193	1,003192	0,0635945	0,0031780	1,0050

Die Werthe von $\overset{\alpha}{\underset{0}{(\cdot)}}$ und $\overset{\alpha}{\underset{0}{[\cdot]}}$, welche zur Berechnung der scharfen Correction gedient haben, sind, der erstere durch Interpolation der Tabelle, welche Encke im astronom. Jahrb. 1834 giebt, mit Zuziehung der zweiten Differenzen, $\overset{\alpha}{\underset{0}{[\cdot]}}$ aber direct nach der S. 371 gegebenen Formel berechnet worden.

2. Zusatz.

Herleitung der Correction wegen der Grösse der Intervalle.

In mathematischem Sinne hat jeder Beobachtungsfehler von ganz bestimmter Grösse nur eine unendlich geringe Wahrscheinlichkeit, und würde nur unendlich selten wiederkehren können. Aber bei den wirklichen Beobachtungen kann man nicht Fehler bis ins Kleinste unterscheiden, sondern nur bis zu einer gewissen Gränze damit herabgehen, und so bleibt man nach Umständen bei Zehntheilen, Hunderttheilen, Tausendtheilen von Linien, Graden u. dgl. in der Aufzeichnung stehen. Was dazwischen fällt, wird auf die nächstliegenden Gränzen der unterschiedenen Intervalle verlegt. Insofern man nun hiedurch den Fehler durchschnittlich eben so oft zu gross als zu klein notirt, scheint es, dass sich diess bei einer grossen Zahl Versuchen compensiren müsste. Auch ist diess nahe aber nicht genau der Fall; vielmehr bringt der Umstand, dass die Zahl der Fehler gegebener Grösse verhältnissmässig rascher als ihre Grösse abnimmt, mit sich, dass hiedurch die Fehlersumme grösser ausfällt, als wenn man jeden Fehler nach seinem richtigen Werthe verzeichnete, und zwar in um so stärkerem Verhältnisse grösser, je grösser die Intervalle, die man bei der Aufzeichnung noch unterscheidet, im Verhältnisse zum mittleren Fehler sind. Denn gesetzt, man schreitet bei der Aufzeichnung durch die Intervalle 0,00; 0,10; 0,20; 0,30 etc. fort, so wird jeder Fehler z. B. über 0,15 und unter 2,5 zu 0,20 geschlagen werden; mithin die ersten Fehler zu gross, die letzten zu klein genommen werden; die Zahl der Fehler im Intervalle von 0,15 bis 0,20 ist aber um so viel grösser, als die der Fehler im Intervalle von 0,20 bis 0,25, dass die Vergrösserung der Fehlersumme, welche aus ersterem Umstande erwächst, nicht durch die Verkleinerung, welche aus letzterem Umstande erwächst, compensirt wird.

So viel ich weiss, ist bis jetzt nicht untersucht worden, wie viel der hievon abhängige Irrthum beträgt und welche Gesetze er befolgt.

Ich finde nun die oben S. 349 angegebene Correction in folgender Weise.

Setzen wir erst, es werde wirklich jeder Fehler mit seinem wahren Werthe notirt so oft, als er vorkommt, so erhalten wir durch Summirung dieser Fehler, deren Zahl m sei, die wahre Feh-

lersumme $S\Delta$; und durch Mittelziehung daraus den wahren Mittelfehler, welcher ε_1 heisse. Sei hingegen i das Intervall der Eintheilung, wozwischen keine Fehler angenommen werden, und beispielsweise $i = 0,25\ \varepsilon_1$ oder $\frac{1}{4}\ \varepsilon_1$, so werden alle Fehler auf die Gränzen der Intervalle von dieser Grösse verlegt und eine falsche Summe $\Sigma\Delta$ erhalten, deren Verhältniss zur wahren $S\Delta$ es zu bestimmen gilt.

Nach der bekannten Tabelle des Wahrscheinlichkeitsintegrals (unter Zuziehung einer Interpolation) ist im Intervalle der Fehlergrössen von 0 bis $\frac{1}{4}\ \varepsilon_1$ normalerweise 0,1581058 der totalen Fehlerzahl enthalten*). Indem diese Fehler halb zu $\frac{1}{4}\ \varepsilon_1$, halb zu 0 geschlagen werden, wird als falsche Summe für dieses Intervall erhalten das, mit 0,1581058 m multiplicirte, Mittel zwischen 0 und 0,25 ε_1. Für das Intervall von 0,25 ε_1 bis 0,50 ε_1 beträgt die Normalzahl der Fehler nach der Tabelle des Integrales 0,1519585 m. Also giebt das hiemit multiplicirte Mittel zwischen 0,25 ε_1 und 0,50 ε_1, d. i. $\frac{3}{8}$. 0,1519585 $m\ \varepsilon_1$ die falsche Summe für dieses Intervall, u. s. f. durch die ganze Skala der Fehlergrössen. Die Gesammtheit dieser Summen giebt 1,003321 $m\ \varepsilon_1$ statt der wahren Summe $m\ \varepsilon_1 = S\Delta$.

Die Summirung ist hiebei allerdings nur bis zu $\Delta = 7,00\ \varepsilon_1$ fortgesetzt; allein die vernachlässigten höheren Fehler haben wegen ihres verschwindend seltenen Vorkommens nur noch Einfluss auf höhere Decimalen, als hier berücksichtigt sind.

Für ein Intervall $i = \varepsilon_1$ wurde entsprechend verfahren und dadurch der Werth

$$S\Delta = 1,053643\ \Sigma\Delta$$

erhalten.

Diese Bestimmungen sind mittelst Interpolation einer bis $h\Delta$**) = 3 gehenden Tabelle des Wahrscheinlichkeitsintegrales der Fehler unter Mitzuziehung der zweiten Differenzen und eigene Berechnung für höhere Werthe nach Verwandlung des Integrales

---

*) Diess findet sich mit Rücksicht, dass das in das Integral eingehende Mass der Präcision h gleich $\frac{1}{\varepsilon_1 \sqrt{\pi}}$ ist, wenn π die Ludolf'sche Zahl.

**) $h = \frac{1}{\varepsilon_1 \sqrt{\pi}}$.

in eine unendliche Reihe*) unter sorgfältiger Revision der erhaltenen Werthe, gefunden.

Ohne Interpolation erhielt ich direct für folgende Intervallverhältnisse $\alpha = \frac{i}{\varepsilon_1}$ folgendes Verhältniss der falschen zu der wahren Summe, wobei $\sqrt{\pi} = 1{,}7724539$

$\alpha = \frac{i}{\varepsilon_1}$	$\frac{\Sigma \varDelta}{S \varDelta}$
$0{,}10\sqrt{\pi}$	1,0016673
$0{,}20\sqrt{\pi}$	1,0066757
$0{,}40\sqrt{\pi}$	1,026713
$0{,}80\sqrt{\pi}$	1,109193

Man sieht nun aus diesen wie aus den vorigen Bestimmungen, dass der Werth, um welchen $\frac{\Sigma \varDelta}{S \varDelta}$ den Werth 1 übersteigt, und welcher u heisse, merklich im Verhältnisse des Quadrates von $\frac{i}{\varepsilon_1}$ steht. Doch wächst der Werth etwas stärker, denn während er bei $\frac{i}{\varepsilon_1} = 0{,}10\sqrt{\pi}$ gleich 0,0016673 ist, ist er bei $\frac{i}{\varepsilon_1} = 0{,}80\sqrt{\pi}$ gleich 0,109193, statt dass er nach dem quadratischen Verhältnisse 0,1067072 sein sollte. Entsprechendes zeigt sich bei den Zwischenwerthen. Indessen ist die Abweichung vom quadrati-

---

*) Ich erhielt folgende Werthe für die mit $\overset{\varDelta}{\underset{o}{(\cdot)}}$ zu bezeichnende Wahrscheinlichkeit der Fehler von 0 bis $\varDelta$ bei folgenden Werthen von $h\varDelta$, wenn h das Mass der Präcision $= \frac{1}{\varepsilon_1\sqrt{\pi}}$ ist, welche ich zu erleichterer Controle der obigen Ableitung hersetze:

$h\varDelta$	$\overset{\varDelta}{\underset{o}{(\cdot)}}$
3,0	0,9999779093
3,1	88351.
3,2	939740
3,3	969422
3,4	984780
3,5	992569
3,6	996441
3,7	998329
3,8	999230
3,9	999652
4,0	999846
4,1	999933
4,2	999971

schen Fortschritte so gering, dass sie füglich vernachlässigt werden kann.

Heisse nun γ kurz der Werth u für $\frac{i}{\varepsilon_1} = 1$, so ist nach dem quadratischen Verhältnisse

$$\Sigma\Delta = \left(1 + \frac{\gamma i^2}{\varepsilon_1^2}\right) S\Delta$$

Und, sofern ε der falsche, ε_1 der wahre Mittelfehler ist, auch

$$\varepsilon = \left(1 + \frac{\gamma i^2}{\varepsilon_1^2}\right) \varepsilon_1$$

Diess führt zu der quadratischen Gleichung

$$\varepsilon_1^2 - \varepsilon\varepsilon_1 + \gamma i^2 = 0$$

woraus

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon \pm \sqrt{\varepsilon^2 - 4\gamma i^2}}{2}$$

Da $4\gamma i^2$ immer klein gegen ε^2, weil γ ein kleiner Bruch, so können wir vermöge Auflösung nach dem binomischen Lehrsatze und Beibehaltung der ersten beiden Glieder setzen

$$\sqrt{\varepsilon^2 - 4\gamma i^2} = \varepsilon - \frac{2\gamma i^2}{\varepsilon}$$

was giebt

$$\varepsilon_1 = \varepsilon - \frac{\gamma i^2}{\varepsilon} = \varepsilon\left(1 - \frac{\gamma i^2}{\varepsilon^2}\right)$$

Indem aber $m\varepsilon_1 = S\Delta$, $m\varepsilon = \Sigma\Delta$, folgt hieraus auch durch Multiplication auf beiden Seiten mit m

$$S\Delta = \Sigma\Delta\left(1 - \frac{\gamma i^2}{\varepsilon^2}\right)$$

Da man mit Beobachtungsreihen, wo $\frac{i}{\varepsilon_1} > 1$ ist, seltener zu thun haben wird, für $\frac{i}{\varepsilon_1} < 1$ aber u ein klein weniges kleiner ist, als dem Werthe $\gamma = 0{,}053643$ nach dem quadratischen Fortschritte entspricht, so habe ich für 0,053643 blos 0,053 als γ in der Correctionsformel S. 349 angenommen.

Innere Psychophysik.

XXXVI. Uebergang von der äusseren zur inneren Psychophysik.

Unsere bisherigen Untersuchungen, Resultate, Formeln bewegten sich wesentlich im Gebiete der äusseren Psychophysik und nur beiläufig und gelegentlich griffen wir damit auf das der inneren Psychophysik vor und über. Es ist aber, wie ich früher geltend gemacht, die äussere Psychophysik nur die Unterlage und Vorbereitung für die tiefer führende innere Psychophysik.

Rufen wir uns zurück: nicht der Reiz erweckt unmittelbar Empfindung, sondern zwischen ihn und die Empfindung schiebt sich noch eine innere körperliche Thätigkeit, wir nannten sie kurz die psychophysische, ein, die vom Reize erweckt wird, und die nun erst unmittelbar Empfindung mitführt oder nachzieht, je nach einer verschiedenen Ansicht, über die wir uns im folgenden Kapitel entscheiden; und die gesetzliche Beziehung zwischen dem äusseren und inneren Endgliede dieser Kette, Reiz und Empfindung, übersetzt sich nothwendig in eine solche zwischen dem Reize und diesem Mittelgliede einerseits und zwischen diesem Mittelgliede und der Empfindung anderseits.

In der äusseren Psychophysik haben wir dieses Mittelglied so zu sagen übersprungen, indem wir, der directen Erfahrung folgend, die gesetzliche Beziehung doch blos zwischen den Endgliedern dieser Kette, dem Reize, welcher der äusseren, und der Empfindung, welche der inneren Erfahrung blos liegt, direct zu constatiren vermochten. Im Eingange zu der inneren Psychophysik haben wir uns vom äusseren Endgliede zu dem Mittelgliede überleiten zu lassen, um fortan dessen Beziehung statt der des äusseren Endgliedes zu dem inneren Endgliede in Betracht zu ziehen. Den Reiz lassen wir dann fallen, nachdem er seinen Zweck erfüllt hat, uns zum Mittelgliede zu geleiten. In eine Uhr kann man nicht hineinsehen, aber dem Gange des äusseren Zeigers den Gang des Rades, das ihn mitführt, entsprechend halten, so lange die Uhr in rechtem Gange ist. Diesen äusseren Zeiger vertritt uns hier der Reiz, indess die psychophysische Bewegung den Gang des Rades

vorstellt, nur dass es umgekehrt als bei der Uhr der Zeiger ist, der hier das innere Rad dreht.

Freilich kann der Gang des Zeigers uns nicht allein Aufschluss über die innere Bewegung geben; es gehört auch eine Kenntniss des inneren Getriebes dazu; und was Anatomie und Physiologie uns von dem inneren körperlichen Getriebe lehrt, das unserem geistigen Treiben unterliegt, ist bisher bei Weitem zu unvollständig, um sichere Schlüsse auch nur über das Allgemeinste der Natur der psychophysischen Bewegung zu erlauben. Sind es elektrische, chemische, mechanische, so oder so geformte Bewegungen eines ponderabeln oder imponderabeln Mediums? Sagen wir einfach, wir wissen es nicht; doch wird die Folge selbst zeigen, dass wir in die innere Psychophysik bis zu gewissen Gränzen einzudringen vermögen, ohne dass wir es wissen, ohne dass wir einer Kenntniss oder besonderer Voraussetzungen über die Natur, d. i. Substrat und Form der psychophysischen Bewegung bedürfen, nur dass gewisse Verhältnisse derselben als bekannt, nur dass diese bis zu gewissen Gränzen am äusseren Reize ablesbar sind.

In der That hat man die beiden Fragen wohl zu unterscheiden und in der Behandlung zu scheiden: welcher Natur ist die psychophysische Bewegung, und an welchen Verhältnissen dieser Bewegung hängen diese und jene Verhältnisse der geistigen Bewegung? Die erste Frage bleibt zunächst dahingestellt, weil sie für jetzt noch nicht zu entscheiden ist, um in einem der Schlusskapitel eine allgemeine Ansicht darüber auszusprechen, indess es sich für jetzt nur um Fragen zweiter Art und hiemit nur um Verhältnisse der psychophysischen Bewegung handeln wird, die gültig bleiben, gleich viel, was sich zuletzt als die Grundnatur dieser Bewegung erweisen wird. Und wohl in keiner Lehre ist es so wichtig, als in unserer, ja es ist als eines der ersten Formalprincipe derselben anzusehen, das voranzustellen, was für alle Voraussetzungen gültig bleibt, und unentschieden zu lassen, was unentschieden bleiben kann, so lange noch Zweifel über die Entscheidung bleiben können. Uebrigens haben wir lange genug in der Physik eben so zur Lehre vom Lichte gestanden und stehen noch so zur Lehre von der Elektricität. Denn was ist Elektricität? Sagen wir einfach, wir wissen es nicht; und wie entwickelt ist doch schon die Lehre von der Elektricität!

Auch hat uns schon die äussere Psychophysik beweisen können, dass es nicht die Natur der Bewegungen ist, um was es sich bei den wichtigsten Fragen in dieser Lehre handelt, sondern dass es Verhältnisse dieser Bewegungen sind. Wenig hat uns die Natur des Reizes, ob es Licht, oder Schall, oder Gewichte waren, zu kümmern gebraucht, es war in keiner Weise nöthig, auf die Natur dieser Reize und der von ihnen erweckten Bewegungen einzugehen, um die Grundgesetze der äusseren Psychophysik festzustellen, und so werden wir auch die innere Psychophysik an die äussere anknüpfen und die wesentlichsten Puncte derselben feststellen können, ohne dass sich das Bedürfniss geltend macht, die Natur der psychophysischen Bewegung zu kennen.

Die erste, die Hauptfrage, um die sich's hiebei zu handeln hat, und an die wir uns nach Erörterung einiger allgemeiner Vorfragen im folgenden Kapitel zunächst wenden, wird die sein, welche Uebersetzung die Fundamente der äusseren Psychophysik, das Weber'sche Gesetz und die Thatsache der Schwelle, die in der Fundamentalformel und Massformel ihren Ausdruck finden, beim Uebergange in die innere Psychophysik zu erfahren haben. Diese Uebersetzung gestattet von vorn herein eine Wahl, mit deren Entscheidung der Eingang in die innere Psychophysik entschieden und der erste Grund derselben gelegt sein wird. Das 38. Kapitel ist bestimmt, zu dieser Entscheidung zu führen. Nun könnte es scheinen, dass, nachdem wir hiemit ganz ins Innere getreten sind, wir des Weiteren von der Erfahrung ganz verlassen sind. Aber so ist es nicht. Vielmehr vermögen wir dem, was von der äusseren Psychophysik her angebahnt wurde, mit Erfahrungen von Innen her entgegenzukommen und zu begegnen, um hiemit die aussen angeknüpfte Kette des Schlusses theils weiter zu führen, theils fester zu ziehen. Einmal steht uns über unser ganzes Seelenleben unmittelbar die innere Erfahrung zu Gebote, zweitens kennen wir das Organ der psychophysischen Thätigkeit und seine Leistungen, wenn auch erst unvollständig, doch bis zu gewissen Gränzen, und täglich vervollständigt sich diese Kenntniss durch neue Thatsachen der Anatomie, Physiologie und Pathologie; wonach nicht blos das äussere Endglied, der Reiz; sondern auch das innere Endglied, die Empfindung, und etwas von dem Zwischengliede, dem Organe der psychophysischen Thätigkeit, sammt dem gesetzlichen Nexus zwischen dem äusseren und inneren Endgliede, Gegenstände der

Erfahrung sind, so dass dem Schlusse blos noch übrig bleibt, die Lücke auszufüllen, welche die Erfahrungen in Betreff des unmittelbaren Eingreifens des Endgliedes in das Zwischenglied übrig lassen.

So gut nun die Verhältnisse des äusseren Endgliedes, des Reizes, gewisse Foderungen an die Verhältnisse des inneren Zwischengliedes der psychophysischen Bewegung stellen, welche uns von einer Seite her hiezu befähigen, ist es mit den Verhältnissen des inneren Endgliedes, der Empfindung, von der anderen Seite her der Fall. Zwar können wir in keiner Weise aus der Natur der geistigen Bewegungen auf die Natur der unterliegenden körperlichen Bewegungen schliessen, d. h. schliessen, welches Substrat und welche Form diesen Bewegungen zukomme, wohl aber schliessen, dass dem psychischen Zusammenhange ein psychophysischer Zusammenhang, der psychischen Auf- und Auseinanderfolge eine psychophysische, der psychischen Aehnlichkeit und Verschiedenheit eine psychophysische, der psychischen Stärke und Schwäche eine psychophysische entspreche, soweit das Psychische seine Unterlage im Physischen hat. Denn nicht nur würde sich ohne solche Bezugsbedingungen eine functionelle Beziehung zwischen beiden gar nicht annehmen lassen, sondern es berechtigen uns auch dazu die Erfahrungen, die wir im Gebiete der äusseren Psychophysik machen können; sofern die Beziehungen zwischen den Wirkungen des Reizes und der Empfindung in solche zwischen psychophysischer Bewegung und Empfindung übersetzbar sind.

Insofern wir nun künftig mehrfach von diesem Principe werden Gebrauch zu machen haben, möge es in Ermangelung eines passenderen Ausdruckes dafür und in Betracht dessen, dass es mit einer functionellen Beziehung zwischen Leib und Seele von selbst wesentlich gesetzt ist, mit dem kurzen Namen des Functionsprincipes bezeichnet und durch ein Beispiel erläutert werden.

Erinnerungen entwickeln sich aus Anschauungen, unter Voraussetzung eines allgemeinen Bewusstseins, in dem beide inbegriffen sind. Ohne die psychophysischen Processe zu kennen, die den einen und den anderen unterliegen, können wir doch nach dem Functionsprincipe schliessen, dass die psychophysischen Bedingungen der Erinnerungen sich aus denen der Anschauungen entwickeln, unter Voraussetzung allgemeinerer psychophysischer Be-

dingungen, welche das Dasein des Allgemeinbewusstseins fodert. Erinnerungen tragen noch die Form der Anschauungen; auch die den Erinnerungen unterliegenden Processe werden noch die Form der Processe tragen, die den Anschauungen unterliegen; Erinnerungen sind im Allgemeinen schwächer als Anschauungen; auch die unterliegenden Processe werden es sein. Erinnerungen kommen aus dem Inneren des Geistes, Anschauungen kommen ihm von Aussen; auch die ihnen unterliegenden Processe werden sich rein aus dem vorhandenen psychophysischen Bestande entwickeln oder des Hinzutrittes neuer Anregungen von Aussen bedürfen; Erinnerungen unterliegen der Association; auch die unterliegenden Processe werden einem Principe der Association unterliegen.

Nun würde es sehr müssig sein, diese Art Uebersetzung des Psychischen in das Psychophysische breit auszuführen, so lange sie uns eben nicht weiter als zur blossen Uebersetzung führt. Aber sie bezeichnet den Weg des Entgegenkommens gegen das, was wir von der äusseren Psychophysik her und nach anatomischen, physiologischen und pathologischen Thatsachen erschliessen können, und nur, wo sich ein solches Entgegenkommen zeigt, werden wir näher darauf einzugehen haben und etwas dadurch gefördert sehen dürfen. Das ist bis jetzt verhältnissmässig zu dem, was die innere Psychophysik zu leisten haben wird, nur wenig; doch schon viel, dünkt mich, im Verhältnisse zu dem, was ohne das Zusammenarbeiten dieser Principien sich leisten liess.

In der That aber dürfte eine vorsichtige und umsichtige Verbindung dieser verschiedenen Wege geeignet sein, die innere Psychophysik zu etwas mehr, als dem Gegenstande blosser Speculation zu machen, und allmäligen, doch sicheren Schrittes immer weiter zu führen. Nicht jeder von den Schritten, die im Folgenden gethan sind, ist schon fest und sicher; aber die Anlage des Ganzen halte ich für fest und sicher.

XXXVII. Ueber den Sitz der Seele.

Das Bedürfniss allgemeiner Vorerörterungen über die Beziehung von Leib und Seele, welches wir beim Eingange in die äussere Psychophysik so viel als möglich zurückgedrängt haben, macht sich beim Eingange in die innere von Neuem geltend, und ich will versuchen, ihm hier durch ein einziges, freilich etwas

ausgedehntes, Kapitel unter obiger Ueberschrift zu genügen, welches sich aber, wie alles Bisherige, metaphysischer Erörterungen gänzlich enthalten, vielmehr versuchen wird, Alles, um was sich's handeln wird, auf bestimmte Thatfragen zurückzuführen, die nur etwas allgemeinerer Natur sein werden, als die wir später behandeln. Demgemäss wird auch hier wie bisher von der Seele ohne Rücksicht auf besondere metaphysische Voraussetzungen über ihre Grundnatur gesprochen, ihr Dasein einfach durch ihr einheitliches Bewusstsein, und was sich als Empfinden, Fühlen, Denken, Wollen darin zusammenfasst, gegeben gehalten, gleich viel, womit man alles das begründet halten will, was philosophisch sehr ungenügend erscheinen kann, für das Folgende aber genügen wird. Hat die Seele eine selbständige Existenz oder nicht? Behalte Jeder seine Meinung darüber oder suche die Discussion darüber in philosophischen Schriften. In allem Folgenden wird es sich um nichts von Meinungen Abhängiges handeln, wenn schon die thatsächlichen Verhältnisse, die hier zur Sprache kommen werden, sich besser der einen als der anderen Meinung fügen mögen, und insofern nicht gleichgültig gegen die Meinung sind.

a) Sitz der Seele im weiteren Sinne.

Der Ausdruck, Sitz der Seele im Körper, beweist, dass man Anlass gefunden hat, der Seele ein räumliches Verhältniss zu ihrem Körper beizulegen. Auch pflegt man gemeinhin sich die Seele wie ein besonderes feines Wesen von eigenthümlicher Natur durch den Körper verbreitet oder als einfaches Wesen an diesem oder jenem mehr oder weniger bestimmt oder unbestimmt vorgestellten Orte desselben sitzend zu denken, jedenfalls ihr Verhältniss zum Körper selbst wie das eines körperlichen Wesens zu anderen körperlichen Wesen zu fassen; und manche metaphysische Vorstellungen über die Natur der Seele führen hierauf zurück. Als Subject und Object der inneren Erfahrung zugleich lässt sich freilich die Seele nach dem, wodurch sie ihr Dasein beweist, Empfinden, Fühlen, Denken u. s. w. in keinem gegebenen Raume sichtbar, tastbar aufzeigen, und Object der äusseren Erfahrung ist sie nicht, wonach man fragen kann, ob überall von einem Verhältnisse derselben zum Raume zu sprechen, und der Ausdruck, Sitz derselben, nicht in jedem Sinne untriftig oder uneigentlich sei.

Inzwischen findet sich Jeder thatsächlich — und zu dieser Thatsache muss es thatsächliche Gründe geben — gedrungen, seine Seele vielmehr zu seinem eigenen Körper, als dem Körper eines Anderen zu rechnen, Jeder kann nicht umhin zu glauben, dass sich seine Seele vielmehr an dem Orte der Erde, wo sich sein Körper findet, als an irgend einem anderen Orte finde und dass sie mit dem Körper durch die Welt wandle; also muss die Seele, wenn nicht eben so wie der Körper, aber durch Vermittelung des Körpers, mit dem sie in Beziehung steht, an den sie, wie man sagt, gebunden ist, einer Localisirung im Raume fähig sein.

Muss diess aber einmal anerkannt werden, so ist dann allerdings auch die Frage nicht abzuweisen, ob nicht aus demselben Gesichtspuncte, aus welchem wir jede gegebene Seele vielmehr an einen gegebenen Körper als an den anderen gebunden halten, dieselbe auch vielmehr an einen als den anderen Theil dieses Körpers gebunden zu denken, und also der Sitz derselben noch mehr einzuschränken sei. Zuvor aber fragt es sich erst nach dem Gesichtspuncte selbst, aus welchem eine Seele überhaupt an einen Körper gebunden gedacht werden kann, indem der Ausdruck Gebundensein zunächst nur auf ein anderes aus der Körperwelt entlehntes Bild hinweist, als der Ausdruck Sitz, für welchen er substituirt worden ist.

Wenn wir nun hierauf von philosophischer Seite her sehr verschiedene und sehr streitige Antworten erhalten, haben wir uns glücklicherweise nach dem von uns eingeschlagenen Gange nicht darum zu kümmern. Von der Erfahrungsseite her bietet sich folgende zweifelsfreie Antwort dar:

Unsere Seele, wie jede Seele, von der wir wissen, kann im Diesseits, mit dem wir hier allein zu thun haben, lebendig, d. h. mit der Möglichkeit und Wirklichkeit von Bewusstseinsphänomenen nur bestehen, sofern ein gegebenes körperliches System lebendig zusammenhält, d. h. mit einem eigenthümlich geordneten Zusammenhange und einem nicht in der Periodicität der Aussenwelt aufgehenden periodischen Wechsel und einer periodischen Auseinanderfolge von Bewegungen besteht, und dieses körperliche System kann lebendig nur bestehen und zusammenhalten, sofern eine gegebene Seele im Diesseits fortlebt. Diess ist die allgemeinste, die Grundthatsache, wegen deren wir einen gegebenen Körper und eine gegebene Seele zusammenrechnen. Dazu tritt dann noch

die zweite Thatsache, welche aber die erste schon voraussetzt, dass die diesseitigen bewussten Thätgkeiten der Seele mit solchen des Körpers, an den ihr diesseitiges Leben im Allgemeinen gebunden ist, durch ein Verhältniss der Bedingtheit auch im Besonderen zusammenhängen. In beider Hinsicht hat eines Jeden Seele zu seinem eignen Körper eine Beziehung, die sie weder zum Körper eines Anderen, noch zu irgend einem Körper oder körperlichen Systeme der Aussenwelt hat, und diess ist es, was beide erfahrungsmässig zu einander rechnen lässt.

Der räumliche Bezug der Seele zum Körper, den die Ausdrücke, im Körper Sitzen, an den Körper Gebundensein anzudeuten scheinen, übersetzt sich also, insoweit wir auf dem Factischen fussen und nicht mit metaphysischen Voraussetzungen beginnen wollen, zunächst nur in den Bezug einer Bedingtheit zwischen dem Bestande und den Thätigkeiten der Seele und des Körpers, den wir erfahrungsmässig nur im Diesseits verfolgen können, und von dem wir fragen können, ob er über das Diesseits hinausreicht.

Insofern alle Theile des Körpers sich in solidarischem Zusammenwirken zu der Leistung vereinigen, die Seele im diesseitigen Leben zu erhalten, und selbst nur in lebendiger Thätigkeit zusammenhalten, so lange die zugehörige Seele im diesseitigen Leben verbleibt, kann man den ganzen Körper beseelt nennen, denselben als Sitz oder Träger der Seele in weiterem Sinne erklären. Der allgemeinen Leistung des Körpers für die Seele ordnen sich dann die besondern Theile, Organe, Glieder, Systeme des Körpers mit Leistungen für besondere Zwecke ein und unter; woran sich später ein Gesichtspunct knüpfen wird, noch von einem Sitze der Seele in engerem Sinne zu sprechen.

Diese Ausdrücke, Seelensitz in weiterem, engerem Sinne, präjudiciren nichts, so lange sie immer so verstanden werden, wie sie hier definirt werden. Selbst, wenn die Seele wirklich ein substanziell einfaches Wesen sein sollte, würde man dennoch den ganzen Körper in dem hier bezeichneten weiteren Sinne ihren Sitz nennen können, wie man einen Palast oder eine ganze Hauptstadt den Sitz eines Königs nennt, ohne damit zu meinen, dass er an jedem Orte in der Hauptstadt sitze.

Inzwischen könnte es näher zugesehen scheinen, dass doch nicht der ganze Körper zur Erhaltung des diesseitigen Seelenlebens wesentlich beiträgt, da wir Füsse, Nase, Ohren und viele andere

Theile vom Körper ohne wesentliche Benachtheiligung des Seelenlebens abschneiden können, indem die Seele den Verlust zwar in sofern spürt, als ihr äussere Hülfsmittel, sich mit der Aussenwelt in Beziehung zu setzen, auf sie zu wirken, verloren gehen, ohne dass aber ihre Lebensfähigkeit leidet und ohne dass ihr Inneres gestört ist. Hienach scheinen alle diese Theile von dem Sitze der Seele schon im weiteren Sinne nach dem dafür aufgestellten Gesichtspuncte auszuschliessen, und der Theil aufzusuchen, der für sich allein nicht zerstört werden oder wegfallen oder in seiner Thätigkeit erlahmen kann, ohne dass das diesseitige Seelenleben wegfalle oder wesentlich gestört werde.

Ein solcher Körpertheil von exclusiver Bedeutung für die Erhaltung und den ungestörten Bestand des diesseitigen Seelenlebens ist jedoch nicht zu finden. Vielmehr gilt das, was von Händen, Füssen, Nasen, Ohren gilt, von jedem Theile des Körpers, sogar Gehirns, sofern die Zerstörung nur nicht auf einmal zu weit greift, eine fundamentale Thatsache, die im Abschnitte c) dieses Kapitels noch genauer constatirt und discutirt werden soll, wo sie mit besonderer Wichtigkeit auftritt. Umgekehrt kann das diesseitige Seelenleben durch Eingriffe von jedem Puncte, jeder Seite, jedem Systeme des Körpers her aufgehoben werden, wenn der Eingriff nur weit genug oder in der geeigneten Form und Stärke geschieht. Dabei sind allerdings gewisse Theile bei Weitem wichtiger als andere, insofern eine Zerstörung oder Störung derselben in gleichem Umfange oder Grade leichter ein Stocken oder eine Störung der Thätigkeit der übrigen organischen Maschine mitführt, als anderer; aber der Unterschied ist überall nur relativ, nicht absolut.

Auch vermögen diejenigen Theile des Körpers, deren Integrität am wichtigsten für das Leben erscheint, selbst nur im Zusammenhange des Ganzen lebendig zu bestehen, verdanken also, anstatt ein ihnen an sich inwohnendes Lebensprincip dem Uebrigen mittheilen zu können, ihr Leben ihrerseits nur dem Zusammenhange mit den Uebrigen; so dass immer der solidarische Zusammenhang das ist, worauf es wesentlich ankommt.

Fassen wir diese Verhältnisse zusammen, so ordnen sie sich folgendem allgemeinen Gesichtspuncte unter: das Zusammenwirken aller Theile des Körpers zu der Leistung, die Seele in ihrem diesseitigen Leben zu erhalten, und der Seele zu Diensten zu

stehen, ist ein derartig solidarisches, dass jeder kleinste und bis zu gewissen Gränzen selbst grössere Theil durch andere oder auch die Gesammtheit der übrigen vertreten werden kann. Wenn daher die Zerstörung nicht über gewisse Gränzen geht, so dass noch hinreichende Mittel zur Vertretung des Zerstörten übrig sind, so spürt die Seele den Nachtheil nicht. Von anderer Seite aber wird durch jede noch so kleine Zerstörung, mag sie das Nervensystem betreffen oder nicht, das Vermögen der solidarischen Vertretung der Theile in ihrer Leistung für die Erhaltung und den Dienst der Seele im Diesseits geschwächt, und, wenn die Zerstörung zu weit geht, unmöglich, so dass selbst scheinbar gleichgültige Eingriffe doch insofern nicht gleichgültig sind, als es von nun an nur eines geringeren neuen Eingriffes bedarf, um den Fortbestand des Lebens unmöglich zu machen, oder die Leistungen für die Seele im Leben wesentlichst verkürzt zu sehen. Dabei haben gewisse Theile grössere Wichtigkeit als andere sowohl für den Fortbestand des Lebens, als die Dienstleistungen im Leben; eine exclusive hat keiner.

Nach Massgabe, als die Theile des Organismus vermöge ihrer Gleichartigkeit, Aehnlichkeit und ähnlichen Stellung geeigneter sind, sich in ihrer Leistung für die Seele zu vertreten, unterstützen sie sich zugleich darin, so die beiden Hände, Füsse, Augen, Ohren, Lungen, Nieren, Gehirnhälften, an jeder Hand die einzelnen Finger, in jeder Lunge die einzelnen Lungenbläschen. So lange alle Theile, die sich vertreten können, vollständig vorhanden sind, theilt sich die Function zwischen ihnen oder wechselt zwischen ihnen; fällt einer weg, so müssen die übrigen die erforderliche Leistung allein zu Stande bringen, was nach Umständen noch hinreichend oder nicht hinreichend geschehen kann. Nach Massgabe anderseits als die Theile vermöge ihrer Ungleichartigkeit und ungleichen Stellung weniger geeignet sind, sich zu vertreten, ergänzen sie sich zu Leistungen, die von keinem derselben allein vollzogen werden könnten. Insofern die meisten Theile etwas Gleiches und Ungleiches haben, combinirt sich die Wirkung beider Principe, bald mit Vorwiegen des einen, bald des anderen.

Man könnte meinen, derselbe Gesichtspunct, welcher unseren ganzen Körper als Leib unserer Seele im weiteren Sinne rechnen lässt, würde consequenterweise die ganze Welt dazu rechnen lassen müssen, indem unser ganzer Leib ohne seinen Zusammen-

hang, Stoff- und Wirkungswechsel mit der übrigen Welt eben so wenig im Stande ist, das Leben der Seele im Diesseits zu erhalten, und Zwecken des diesseitigen Lebens zu dienen, als unser Gehirn und Nervensystem ohne seinen Zusammenhang, Stoff- und Wirkungswechsel mit dem übrigen Leibe; auch das Princip der Vertretung und Ergänzung der Theile zu Diensten unserer Seele sich nur in grösserem Massstabe in der Welt, als in unserem Leibe gültig erweist, und zwar im Zusammenhange mit dem, was in unserem Leibe gilt, so dass selbst fehlende Theile unseres Leibes bis zu gewissen Gränzen durch Hülfsmittel der Aussenwelt ersetzt werden können.

Aber bei alledem bleibt ein Gesichtspunct, welcher unseren Körper in einer bevorzugten Beziehung vor der übrigen Welt zu unserer Seele erscheinen lässt. Die Seele kann freilich nicht ohne den übrigen Weltzusammenhang diesseits bestehen; wenn aber die Seele aus dem Diesseits schwindet, zerfällt bloss der Theil der Welt, den wir eben desshalb unseren Leib nennen, nicht die übrige Welt, und so besteht für sie nur der eine, aber nicht zugleich auch der andere Gesichtspunct, wesshalb wir unseren Leib zu unserer Seele rechnen.

Zu der bisher erörterten wichtigen Thatsache, dass der diesseitige Bestand unseres Seelenlebens wesentlich nicht an den Bestand eines einzelnen besonderen Körpertheiles, sondern den solidarischen Zusammenhang des Körpers gebunden ist, tritt die zweite wichtige Thatsache, dass er auch nicht an die Forterhaltung eines besonderen Stoffes im Körper, sondern dass er vielmehr an den Stoffwechsel im Körper gebunden ist. Dieselbe Seele pflanzt sich successiv auf eine Zusammenstellung aus immer neuen Stoffen über, oder es treten immer neue Stoffe in die Zusammenstellung ein, an welche die Seele geknüpft ist, unter Ausscheidung der alten, so dass der Leib des Greisen aus ganz anderen Stoffen zusammengesetzt ist, als der des Kindes. Auch nimmt das Seelenleben nach Massgabe der Raschheit des Stoffwechsels selbst an Lebhaftigkeit zu. Es ist daher eben so triftig zu sagen, das Seelenleben sei an die Forterhaltung eines körperlichen Wechsels als einer körperlichen Zusammenstellung, wie hinwiederum jener Wechsel an die Forterhaltung des Seelenlebens gebunden.

Es kann nun Jedem überlassen bleiben, die factischen Beziehungen zwischen dem Bestande von Leib und Seele, um die es

sich bisher gehandelt hat, unter eine Formel zu vereinigen, welche die Thathsachen kurz zusammenfasst, nur dass sie immer im Sinne der Thatsachen verstanden und ausgelegt werde. Und so bediene ich mich, wenn es sich darum handelt, das Abhängigkeitsverhältniss in der Richtung von der Seele zum Körper zu verfolgen, gern der Formel, die Seele sei das verknüpfende Princip der körperlichen Zusammenstellung, des körperlichen Wechsels und der Auseinanderfolge der Thätigkeiten des Körpers, und will hiemit eben nichts Anderes gesagt haben, als was die bisherigen Thatsachen besagen.

Ein Anderer kann es bequemer finden, und wir mögen es anderwärts, wenn es sich handelt, das Abhängigkeitsverhältniss zwischen Seele und Körper in umgekehrter Richtung zu verfolgen, selbst bequemer finden, die Seele oder das Seelenleben vielmehr als ein Resultat, denn als ein verknüpfendes Princip der körperlichen Zusammenstellung und Auseinanderfolge zu erklären, und es wird diess nicht minder gestattet sein müssen, insofern mit diesem Ausdrucke eben wieder nichts Anderes gesagt sein soll, als was die Thatsachen besagen. Zwar kann der Unterschied beider Ausdrucksweisen philosophisch sehr wichtig erscheinen, insofern man sie an die Spitze einseitiger philosophischer Systeme stellt, oder metaphysische Vorstellungen über die Natur der Seele daran knüpft, schwindet aber in der Anwendung auf das Factische, sofern ein verknüpfendes Princip ebenso einer Mannichfaltigkeit bedarf, die es verknüpft, als ein Resultat einer solchen, aus der es hervorgeht, und als jenes wie dieses etwas Einheitliches ist im Verhältnisse zu der Mannichfaltigkeit, die zu seiner Existenz gehört.

Mit der (Th. I. Kap. 1) aufgestellten Formel, dass das Geistige die innere Ercsheinungsweise dessen sei, was äusserlich als körperlich erscheint, verknüpfen sich diese Formeln durch den factischen Gesichtspunct, dass in der inneren Erscheinungsweise das einheitlich oder vereinfacht sich darstellt, was für die äussere Erscheinung in eine Vielheit sich auseinanderlegt; wie denn das, was äusserlich als ein zusammengesetzter Nervenprocess erscheint, innerlich als einfache Empfindung erscheinen kann.

Für dualistische und monadologische Auffassungen sind beide Ausdrucksweisen überhaupt nicht bequem, und es steht ihnen dann frei, dieselben Thatsachen in ihrem Sinne auszudrücken, indem sie der vorausgesetzten besonderen Seelensubstanz oder Monade demgemässe Kräfte und Beziehungen zum Körper beile-

gen. Alles das ist, wir können es nicht genug wiederholen, für den hier eingeschlagenen Gang der Untersuchung gleichgültig, so lange man nichts aus dem Ausdrucke, sondern nur aus den Thatsachen folgern will.

Unstreitig lässt sich die Frage aufwerfen, ob nicht eben so, wie das organische System unseres Leibes einen bewussten Geist als verknüpfendes Princip oder Resultat, oder Entelechie, oder bevorzugte Monade, oder eigenthümliche Substanz, je nachdem man es fassen will, in sich trägt, dasselbe von der ganzen Welt gilt, und, wenn schon jetzt unsere Seele ihren Leib mit der Aussenwelt langsam tauscht und wechselt, ob nicht der Tod blos ein rascherer Sitzwechsel sei, in dem sie den alten engen Leib auf einmal mit einem weiteren vertauscht. In der That können in naturphilosophischen und religiösen Betrachtungen derartige Analogieen, und zwar meines Erachtens mit wirklichem Fuge, geltend gemacht werden; doch ist diess hier nicht unsere Aufgabe; wir bleiben hier bei dem stehen, was Sache directerer Erfahrung ist.

b) Sitz der Seele im engeren Sinne.

Von dem Verhältnisse der Bedingtheit zwischen dem diesseitigen lebendigen Bestande unserer Seele und unseres Körpers im Allgemeinen und Ganzen, auf das wir den Begriff des Beseeltseins und Seelensitzes im weiteren Sinne gegründet haben, ist ein Verhältniss specieller Bedingtheit zwischen den bewussten Vorgängen unserer Seele und zugehörigen Vorgängen unseres Körpers wohl zu unterscheiden. Wir nennen eine Seele so lange lebendig, als sie die Fähigkeit hat, Bewusstseinsphänomene zu produciren, ohne dass sie desshalb immer bewusst ist, da sie vielmehr abwechselnd schläft und wacht. Nun müssen zu denjenigen körperlichen Verhältnissen und Vorgängen, welche als allgemeine Bedingungen der Erhaltung des diesseitigen Seelenlebens dem Wachen und Schlaf gemeinsam sind und im solidarischen Zusammenhange der lebendigen Thätigkeit des ganzen Körpers begründet liegen, noch besondere Bedingungen hinzutreten, um das Wachsein zu unterhalten, welche als Specialbedingungen des Bewusstseins zu gelten haben, sofern mit ihnen das Bewusstsein da ist und schwindet, die aber selbst erst auf Grund jener allgemeinen Lebensbedingungen entstehen und bestehen können, dieselben zu ihrer Voraussetztung und Unterlage fodern. Dass

Schlaf und Wachen wirklich überhaupt an körperliche Bedingungen geknüpft sind, kann übrigens keinem Zweifel unterliegen; da Druck auf das Gehirn Schlaf hervorrufen, ein körperlicher Anstoss an den Schlafenden denselben wecken kann.

So wie die Specialbedingungen des Bewusstseins blos durch einen Theil des Lebens, indess die allgemeinen durch die ganze Lebenszeit reichen, so jene blos durch einen Theil des Leibes, indess diese durch den ganzen Leib, und zwar sind wir veranlasst, beim Menschen und Geschöpfen überhaupt, welche ein Nervensystem und Gehirn haben, die besonderen Bedingungen des Bewusstseins vorzugsweise vor dem übrigen Körper im Nervensysteme, insbesondere Gehirn, zu suchen, welches wir hienach als einen Sitz der Seele oder des Bewusstseins im engeren Sinne ansehen können, wobei noch die in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels specieller zu erörternde Frage übrig bleibt, ob nicht der engere Seelensitz noch einer bestimmteren Localisation innerhalb des Nervensystems, respectiv Gehirns, fähig sei, und wie es sich bei anderen Geschöpfen als dem Menschen und den ihm nahestehenden Geschöpfen verhalte.

Die Nothwendigkeit, einen engeren Seelensitz innerhalb des weiteren im eben angegebenen Sinne zu unterscheiden, und das Nervensystem, respectiv das Gehirn, oder einen besonderen Theil desselben im Menschen und den höheren Thieren dafür zu halten, liegt in folgenden Thatsachen begründet. Nur solche Theile des Körpers, welche mit Nerven versehen sind, sind empfindlich, und nur nach Massgabe als Reize unser Nervensystem betreffen und die betroffenen Nerven mit dem Gehirne stetig zusammenhängen, erwecken sie eine Empfindung. Willkührlich bewegliche Theile unterliegen dem Einflusse des Willens nur so lange, als sie mit dem Gehirne durch Nerven im Zusammenhange stehen. Umgekehrt aber bedarf das Gehirn nicht des stetigen Zusammenhanges mit besonderen Körpertheilen oder Nerven, um Thätigkeiten zu erzeugen, welche von Bewusstseinsphänomenen begleitet sind, so lange das Leben, hiemit die Möglichkeit solcher Phänomene, überhaupt erhalten bleibt. Durch Zerstörung besonderer Nerven oder der Gehirntheile, womit sie zusammenhängen, kann man das Vermögen besonderer Empfindungen aufheben, nicht so durch Zerstörung anderer Körpertheile. Minder entscheidend, wenn auch im Ganzen in demselben Sinne sprechend, sind die Beobachtun-

gen über die Störungen des allgemeinen geistigen Lebens je nach Verletzung oder Störung des Gehirns und anderer Organe, indem einerseits die Vertretbarkeit verschiedener Gerhirntheile durch einander bezüglich der Leistungen für das allgemeine geistige Leben Störungen desselben bei localen Verletzungen oder Störungen des Gehirns oft nicht zu Stande kommen lässt, indess anderseits solche auch durch Störungen anderer Organe vermöge secundären Einflusses auf das Gehirn begründet werden können. Endlich verdient noch Beachtung, dass das Bewusstsein direct durch Druck auf das Gehirn, aber auf keinen anderen Theil, ausser sofern Stockung des Blutes im Gehirne dadurch entsteht, aufgehoben werden kann.

Der engere Seelensitz steht dem weiteren nicht äusserlich gegenüber, sondern ist selbst nur ein Theil des weiteren. Er kann nur durch seinen Zusammenhang mit den übrigen Theilen des weiteren seine Leistungen für das Bewusstsein vollziehen, indess er selbst wesentlich mit zum solidarischen Zusammenhange des weiteren gehört. Veränderungen im engeren Seelensitze, welche von Bewusstsein begleitet sind, können Folgen in die übrigen Theile des weiteren hineinerstrecken, welche aber, nach Massgabe als sie über den engeren hinausgreifen, bezugslos zum Bewusstsein werden; umgekehrt können Reize, die durch den weiteren Seelensitz verlaufen, nicht eher Empfindung, Bewusstsein erwecken, als bis sie zum engeren Seelensitze gelangt sind.

Insofern wir die körperlichen Thätigkeiten, mit welchen die geistigen in directer functioneller Beziehung stehen, psychophysische nennen; und insofern diese nur Bewusstsein mitführen können, sofern sie einen bestimmten Grad der Stärke, eine Schwelle übersteigen, wie in dem Kapitel über Schlaf und Wachen noch ausführlicher auf Grund von Thatsachen erörtert werden wird, können wir, bei übrigens völliger Unbekanntschaft mit der Natur der psychophysischen Thätigkeit und unter Rücksicht auf die noch folgenden Erörterungen, doch im Allgemeinen die Zeit des Wachens als die Zeit, und den engeren Seelensitz alz den Leibestheil, bezeichnen, worin die psychophysischen Thätigkeiten die Schwelle zu übersteigen vermögen.

Dabei kann noch fraglich bleiben, ob sie während des Schlafes und in den übrigen Theilen des Körpers überhaupt fehlen oder

nur unter der Schwelle sind, und ob das, was von ihnen die Schwelle übersteigt, nicht selbst die Stelle wechseln kann. Diese specielleren Fragen fodern specielle Untersuchungen, worauf für jetzt nicht einzugehen.

c) Frage nach dem einfachen oder ausgedehnten (engeren) Seelensitze.

Das Bisherige bezog sich auf sehr allgemeine Verhältnisse, welche weniger leicht zu einem Streite über das Thatsächliche, als dessen Ausdruck, Deutung und Verwendung im philosophischen Interesse Anlass geben konnten, ein Streit, der uns hier nicht berührt. Jetzt aber kommen wir auf eine streitige Thatfrage von wichtigstem Interesse für die Psychophysik, über welche uns der Streit allerdings berührt, so sehr, dass ohne Entscheidung darüber nicht weiter vorgeschritten werden könnte.

Man ist einig darüber, dass nicht der ganze Körper in gleichgeltender Beziehung zur Seele steht, ein engerer Seelensitz darin irgendwie noch anzunehmen sei. Aber nach welchem Gesichtspuncte und wie weit ist er einzuschränken? Auf einen Punct oder nicht? In einem Puncte können freilich keine Bewegungen vorgehen, und sofern doch die Seelenbewegungen mit körperlichen Bewegungen in functioneller Beziehung stehen, und der Ort dieser Bewegungen den engeren Seelensitz bedeuten soll, scheint ein punctförmiger Seelensitz von vorn herein ausgeschlossen. Aber wenn solche Bewegungen nicht in einem Puncte vorgehen können, können sie doch in ihm anfangen und endigen; und hiemit erhebt sich folgende wichtige Frage:

Heben alle Bewegungen, welche durch psychischen Antrieb im Körper entstehen, von einem bestimmten Puncte des Körpers, respectiv Gehirns, im Gefolge der psychischen Thätigkeit an, und müssen alle Bewegungen, um Empfindungen (und was sonst von Seelenvorgängen körperlich bedingt ist) zu erwecken, erst zu einem bestimmten Puncte des Körpers gelangt sein, um solche im Gefolge zu erwecken; oder gehen Bewegungen, an psychische Triebe, Empfindungen, Vorstellungen, Gedanken geknüpft, in wesentlicher Functionsbeziehung dazu, in einer gewissen Ausdehnung des Körpers, respectiv Gehirnes, unmittelbar mit denselben mit, nach deren Beschaffenheit specialisirt, so weit

eine Specialisirung überhaupt reicht.*) Ersteres werde ich kurz als die Ansicht von einem einfachen, letzteres von einem ausgedehnten Seelensitze bezeichnen, ohne an etwas Anderes als das eben erörterte factische Verhältniss hiebei gedacht haben zu wollen.

So fasst auch Lotze, der gewichtigste Vertreter der Ansicht vom einfachen Seelensitze, den Begriff des einfachen Seelensitzes, indem er sagt**): »man wird nach dem Sitze der Seele fragen: Der Sinn dieser Frage ist einfach; lassen wir dahingestellt, ob es möglich sei, dem untheilbaren Wesen eines wahrhaft Seienden irgendwie räumliche Ausdehnung in dem Sinne zuzuschreiben, in welchem wir sie den materiellen Stoffen beilegen zu können glauben, so werden doch alle Meinungen darin sich vereinigen dürfen, dass auch dem unausgedehnten Wesen ein Ort im Raume zukommen könne. Da wird es vorhanden sein, bis wohin alle Eindrücke des ihm Fremden sich fortpflanzen müssen, um es mit ihrer Wirksamkeit zu erreichen, und von wo aus rückwärts alle die Anregungen kommen, durch welche es unmittelbar seine Umgebung, mittelbar durch diese die weitere Welt in Bewegung setzt. Dieser Punct des Raumes ist der Ort, an welchem wir in die unräumliche Welt des wahrhaften Seins hinabsteigen müssen, um das wirkende und bildende Wesen zu finden, und in diesem Sinne wird jede Ansicht einen Sitz der Seele suchen dürfen, auch wenn sie ihr ausser dem Orte nicht zugleich die Ausdehnung einer räumlichen Gestalt zugestehen zu dürfen glaubt.«

Nach der Ansicht vom einfachen Seelensitze findet eine blosse Folgeabhängigkeit, nach der vom ausgedehnten eine simultane oder Wechselabhängigkeit zwischen körperlichen und geistigen Bewegungen statt. Nach erster Ansicht sind es blos Anstösse an einen bestimmten Punct oder von einem bestimmten Puncte aus, womit die Aenderungen der Seele vom Körper aus und umgekehrt folgweise in functioneller Beziehung stehen; nach letzter sind es Aenderungen in einem variablen Systeme von Bewegungen, welche mit den Aenderungen der Seele als wesentlich gleichzeitige functionsweise verknüpft sind.

Je nachdem man der einen oder anderen Ansicht huldigt, muss sich die ganze Auffassung, ja bis zu gewissen Gränzen selbst die Möglichkeit, einer inneren Psychophysik verschieden stellen, und die Erörterung der Frage kann daher hier in keiner Weise umgangen werden.

---

*) Ich statuire zwar in dieser Hinsicht keine Gränze; aber da keine Untersuchung hier darüber geführt ist, bleibt auch jedem die Ansicht hier darüber freigestellt.

**) Mikrokosmus I, 316; und ähnlich medic. Psychol. 117.

Die Entscheidung aber muss für uns aus doppeltem Gesichtspuncte zu Gunsten der Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze ausfallen, aus formalem, weil nur auf ihrem Grunde eine Entwicklung der inneren Psychophysik überhaupt möglich ist; nothwendig aber ist für die Psychophysik diejenige Ansicht vorzuziehen, welche ihr mehr leistet, und sicher wird diejenige Psychophysik dereinst vorgezogen werden, welche mehr leistet; — aus sachlichem, weil der Nexus der Thatsachen dazu nöthigt. Der formale Vortheil einer grösseren Leistungsfähigkeit der Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze hängt aber natürlicherweise mit dem Vorzuge ihrer sachlichen Triftigkeit zusammen.

Dieser Vorzug liegt jedoch nicht von vorn herein am Tage, und ist nicht als zugestanden vorauszusetzen. Im Gegentheile, die Ansicht von einem einfachen Sitze der Seele ist alt, ist vielverbreitet, kann nach ihrer Beziehung zur Ansicht von der einfachen centralen Natur der Seele als die natürlichste erscheinen, ist selbst ein wesentliches Moment in manchem philosophischen Systeme. Und wenn sie sonst nicht leicht mit Klarheit und klarem Bewusstsein ihrer Bedingungen und Consequenzen gefasst und dargestellt worden ist, so ist diess doch neuerdings mit so viel Beredtsamkeit, Scharfsinn, Kenntniss der einschlagenden Thatsachen und Prägnanz der Folgerungen von einem Philosophen, zugleich Vertreter der exacten Naturwissenschaften*), geschehen, dem die wissenschaftliche Medicin hinsichtlich der Aufklärung mancher Hauptfragen zu grossem Danke verpflichtet ist, dass es schon aus diesem Grunde unangemessen sein würde, den Widerspruch dieser Ansicht zu ignoriren, oder leichthin dagegen abzusprechen. Auf die philosophische Seite der Sache kann nun zwar hier nicht näher eingegangen werden; aber das, was von der Erfahrungsseite her hier massgebend sein muss, wird etwas genauer ins Licht zu setzen sein. Ungern sehe ich mich dabei in Widerstreit mit jenem von mir hochgeachteten Forscher verwickelt, mit dem ich vorzugsweise gewünscht hätte, in dieser Frage Hand in Hand zu gehen.

Die Ansicht vom einfachen Seelensitze stellt gewisse anatomische, physiologische und pathologische Foderungen; die Ansicht

---

*) Lotze, medicin. Psychol 115 und Mikrokosmus I, 316.

vom ausgedehnten Seelensitze stellt andere; und je nachdem man die einen oder anderen erfüllt findet, wird man, falls man anders sich von Erfahrung leiten lassen will, der einen oder anderen Ansicht sich anzuschliessen haben.

Die erste Ansicht verlangt ein bestimmtes Centrum von Impulsen, die zweite ein ausgedehntes Feld von Bewegungen; die erste möglichst einfache und directe Bahnen zwischen der Aussenwelt und dem Seelensitze, welche die Impulse zu- und abführen; da die Verarbeitung der sinnlichen Eindrücke erst in der Seele geschieht; die zweite eine grosse Complication von Wegen, um dem verwickelten Gange von Seelenbewegungen und der Verarbeitung der sinnlichen Eindrücke in ihr eine angemessene Unterlage zu geben. Für die erste fällt mit Zerstörung einer bestimmten kleinen Stelle des Gehirnes die Seele sicher aus dem Leben; für die zweite gewährt bei Zerstörung irgend eines kleinen Theiles des Gehirnes der solidarische Zusammenhang des Ganzen die Mittel der Vertretung. Die erste hat zu erklären, wie Impulse, die als zusammengesetzte beim Seelensitze anlangen oder davon ausgehen, doch noch unterschieden werden oder sich nach dem Willen der Seele in unterschiedene Wirkungen spalten können; die zweite hat für Alles, was zu unterscheiden, unterschiedene Bahnen und Bewegungen.

Wer mag in Abrede stellen, dass allen diesen Foderungen vielmehr im Sinne der Ansicht vom ausgedehnten als vom einfachen Seelensitze entsprochen ist?

Das Gehirn stellt sich bekanntlich als ein weitläufiges Geflecht verschlungener Nervenwege mit sog. Ganglienkörpern dar, wohl geeignet, einem ausgedehnten Spiele verwickelter Bewegungen Raum zu geben, für welche die Fäden Bahnen und die Ganglienkörper Anfangs- und Endpuncte oder Zwischenstationen bilden, ohne dass eine anatomische Ahnung, geschweige Thatsache, ein Centrum dieser unzähligen Centra entdecken lässt. Statt dass alle Sinnesnerven einem Centrum zustralen und alle Bewegungsnerven von einem solchen ausstralten, dröseln manche, die compact beim Gehirne anlangen, sich beim Uebergange in dasselbe in mehrere Nervenwurzeln auf. Im Allgemeinen sind es die grossen Hirnhemisphären, welche die grösste, wenn man will centrale, Bedeutung für das Seelenleben verrathen, wie selbst die Anhänger des einfachen Seelensitzes nicht leugnen können; aber sie sind dop-

pelt. Sitzt nun die Seele in der linken oder rechten Hemisphäre? sie wird zwischen beiden sitzen, in der Zirbel, dem Balken, der Brücke, oder sonst einem unpaarigen Gehirntheile. So natürlicherweise bisher noch alle Anhänger des einfachen Seelensitzes: Descartes, Herbart, Lotze. Wohl, die Aufgabe ist damit erleichtert; so wird im ganzen Gehirne nur der unpaarige Theil aufzusuchen sein, der nicht zerstört werden kann, ohne das diesseitige Leben zu zerstören. Das anatomische Messer und die pathologischen Zufälle sind geschäftig gewesen, uns diesen Dienst zu leisten. Und je mehr sich die Versuche und Fälle gehäuft haben, so fester hat sich das Resultat gestellt, dass das Gesuchte nicht zu finden ist.

Die Bedeutungslosigkeit der Zirbel, wo Descartes den einfachen Seelensitz suchte, für Leben und Integrität der Seele ist durch pathologische und physiologische Versuche längst so erwiesen, dass die neueren Vertreter des einfachen Seelensitzes davon abstrahirt haben.

In Betreff des Balkens möge folgende Stelle aus Longet*) hier stehen.

»Le corps calleux peut manquer dans l'espèce humaine, ou présenter des vices de conformation très-prononcés sans qu'il résulte un préjudice notable pour l'entretien de la vie, pour la réceptivité des sensations ou l'exercice des mouvements volontaires. Plusieurs exemples en fournissent la preuve incontestable: tels sont ceux que rapportent Reil, Solley, Foerg, Chatto et Paget.«

Lotze ist mit Herbart geneigter, den Sitz der Seele in der Brücke als im Balken zu suchen (med. Ps. 119); und nach den anatomischen Dispositionen der Brücke muss auch die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze einen der wichtigsten Herde des Seelenlebens, nur nicht den alleinigen oder letzten in ihr sehen und von ihren Verletzungen wichtige Störungen erwarten. Longet sagt in dieser Hinsicht (*Anat. et physiol. du syst. nerv.* I. 348): »Da bekanntlich die Empfindungs- und Bewegungsstränge des Rückenmarks, ehe sie in die Grosshirnlappen ausstralen, zum Theil die Brücke durchsetzen, so ist leicht vorauszusehen, dass Verletzungen derselben die Verrichtungen der Bewegung und Empfindung stören müssen.« Doch sagt er auch nach Zusammenstellung hierauf bezüglicher Thatsachen und Meinungen: »Für die Geruchs-, Gesichts-, Gehörs- und Geschmackseindrücke giebt es keine Thatsache, auf welche gestützt man zu glauben wagen dürfte, dass ihre Wahrnehmung insbesondere in der Brücke zu Stande komme, wie diess bei den Tasteindrücken der Fall ist«; und: »man darf jedoch dem Wahrnehmungsvermögen der Brücke keine zu grosse Wichtigkeit beimessen und sich zu übertriebenen Schlüssen versteigen.... Ich gestehe, dass es mir bis jetzt für das Wahrscheinlichste gilt, dass bei dem natürlichen Hergange der Sinnesthätigkeiten die Grosshirnlappen die einzigen Hirntheile

*) Longet traité de physiol. II. p. 234.

sind, in welchen die Sinneseindrücke eine letzte Verarbeitung erfahren, wo sie eine bestimmte Form annehmen können, um den Thieren den Stoff zu ihren Urtheilen zu liefern.« Und in dieser Ansicht stimmen nach unbefangenster Zusammenfassung der anatomischen, physiologischen und pathologischen Thatsachen wohl jetzt die meisten Physiologen überein.

Mit Thatsachen sehr allgemeiner Tragweite tritt neuerdings Rud. Wagner*) der Centralisation des Seelensitzes entgegen.

»Man kann, — sagt er — bei Tauben (aber auch bei Kaninchen) bei entblösstem oder unentblösstem Gehirne, wenn man eine grössere Anzahl von Individuen verwendet, alle einzelnen Partieen des Gehirnes mit einer einfachen oder einer Staar-Nadel zerstören, ohne dass, wenn keine tödtliche Blutung erfolgt, die freilich oft eintritt, die Sinnesperceptionen und die höhere psychische Functionen (Vorstellungen) beurkundenden Reactionen aufhören....

»Auch der mögliche Einwurf, dass es bei Thieren sehr schwer sei, Reactionen der Bewusstseinssphäre von Reflexbewegungen zu unterscheiden, wird, glaube ich, durch Beobachtungen beim Menschen, welche allerdings für solche Fragen die wichtigsten sind, widerlegt.

»Ich habe nämlich bei einem genauen Vergleiche der klinischen Erfahrungen und Sektionsberichte gefunden, dass in allen an der Basis des Gehirnes gelegenen Theilen, auch der unpaaren, wie der Hypophysis und der Zirbel, krankhafte Degenerationen, ja, wie es scheint, gänzliche Zerstörungen vorkommen können, ohne dass die Seelenthätigkeit immer auffallend gestört, ja öfters gänzlich erhalten erscheint.

»Diese beiden Erfahrungsreihen müssen, wenn sie auch nicht als zweifellose Beweise betrachtet werden sollten, es doch auf das Aeusserste unwahrscheinlich machen, dass im Gehirne ein gemeinsamer Empfindungsplatz, ein punctförmiges *Sensorium commune,* sich befindet. Ja ich bekenne, indem ich meine früheren Ansichten limitire, dass eine gewisse Summe von Seelen-Erscheinungen erhalten bleibt, wenn man, wie bei Tauben möglich ist, grosses, kleines und einen Theil des Mittelhirnes entfernt hat und die Thiere am Leben erhält.«

Hiezu kommt noch, dass es Thiere giebt, in denen kein unpaariger Theil des Nervensystems vorhanden ist, wohin man den Sitz der Seele verlegen könnte. Jede rationale Fassung des einfachen Seelensitzes muss in einem symmetrisch gebauten und sich im Sinne dieser Symmetrie bewegenden Thiere den Körper symmetrisch zu diesem Sitze angeordnet denken. Beim Menschen wäre diess noch möglich; bei den Echinodermen ist es nicht mehr möglich, soll anders der Seelensitz im Nervensysteme liegen.

»Das Nervensystem der Echinodermen umschliesst als Centralorgan den Eingang zur Schlundhöhle in Gestalt eines meist fünfeckigen Nervenringes,

*) Götting. gel. Anz. 1860. Nachrichten Nr. 6. S. 55 ff.

von dessen Winkeln die Hauptnervenstämme in der Mittellinie der Stralen oder der diesen entsprechendem Hautskelettheile bis zu dem entgegengesetzten Leibesende hinablaufen. . . . Ganglienknoten haben sich bis jetzt an dem Schlundringe nicht wahrnehmen lassen.« (Stannius' und Siebold's Lehrb. d. vergl. Anat. 1. Ausg. I. S. 85.)

Kann irgend etwas beweisen, dass sich anatomischerseits ein Centralpunct oder enger Centralraum nicht finden lässt, der als Sitz der Seele angesehen werden könnte, so ist es der Umstand, dass man nach und nach fast jeden Theil des Gehirnes dafür angesehen hat*). So setzte Descartes den Sitz der Seele in die Zirbel, Bontekoe, Lancisi, Louis, Chopart, Saucerote und la Peyronie in den Balken; Digby in die Scheidewand; Vieussens in den grössten Umkreis des Markes; Andre in die Sehnervenhügel; Andre in den Gehirnknoten; Arantius in die dritte Hirnhöhle; Willis in den gestreiften Hügel; Drelincourt in das kleine Hirn; Wharton und Schelhammer in den Anfang des Rückenmarkes; Fabri in das gefaltete Adernetz; Mieg in das Rückenmark. Diese Ansichten mögen zum Theil sehr unkritisch gewesen sein, aber die umsichtigste Kritik wird nur darin über alle diese Ansichten hinausgehen können, dass sie alle gleich verwirft.

Geht man näher auf die pathologischen Erfahrungen ein, so scheinen dieselben zunächst nur Widersprüche unter einander darzubieten. Während eine Unzahl pathologischer Erfahrungen die grosse Bedeutung der Integrität des Gehirnes für die Integrität des Seelenlebens beweist, scheint sie nach einer grossen Menge anderer Erfahrungen fast gleichgültig dafür zu sein. Bei den geachtetsten Beobachtern finden sich Beispiele von Wunden, Erweichungen, Verhärtungen, Hydatiden u. a. Entartungen im Gehirne, die ungeachtet einer sehr weiten Ausbreitung doch mit keiner Geistesstörung in Verbindung standen. U. a. haben Haller (Elem. physiol. IV. p. 338), Arnemann (Vers. üb. d. Gehirn und Rückenmark S. 136), Longet, Anatomie und Physiol. des Nervensystems, solche Fälle gesammelt. Ja Sömmering (v. Hirn u. d. Nerven S. 400) sagt: es sei fast kein Theil der Gehirnmasse, den man nicht zuweilen ohne Spur eines Nachtheiles für Leben und Verstand verhärtet, verwundet, vereitert oder zerstört gefunden hätte. Eben so bemerkt Burdach, der in seinem Werke über

*) Sömmering. 407.

das Gehirn die bekannten Fälle von Verletzungen und Abnormitäten des Gehirnes nach den Kategorieen ihrer Folgen mit peniblem Fleisse zusammengestellt, im Allgemeinen (III. S. 267): die Erfahrung habe gelehrt, dass es keinen Theil im Gehirne gebe, dessen Abnormität nicht zuweilen eine Störung der Seelenthätigkeit zur Folge gehabt hätte, aber eben so auch keinen, bei dessen Abnormität die Seelenthätigkeit nicht ungestört geblieben wäre. (Vergl. auch Wagner's Anführungen in dieser Hinsicht S. 397.)

Nun gilt es, eine Ansicht zu fassen, welche die scheinbaren Widersprüche in dieser Hinsicht löst, nicht eine solche, welche sie bestehen lässt. Die Ansicht vom punctuellen Seelensitze vermag aber jene Widersprüche nicht zu lösen, sondern lässt sie in voller Stärke bestehen. Ein Punct, ein kleiner Organtheil, durch dessen Zerstörung oder Störung sicher Zerstörung oder Störung des diesseitigen Seelenlebens einträte, müsste danach jedesfalls gefodert werden, und er hat noch nicht gefunden werden können. Wogegen sich die scheinbaren Widersprüche nach der Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze ganz consequent und einfach im Sinne der sonst im Organismus vorhandenen Einrichtungen lösen. Was für den ganzen weiteren Seelensitz gilt, gilt nur eben auch für seinen wichtigsten Theil, den engeren. Wenn die rechte Lunge zerstört ist, athmet man noch mit der linken, und wenn von beiden ein Stück zerstört ist, athmet man noch mit dem anderen. So können sich die beiden Augen, Ohren, Hände, die Collateralgefässe der grossen Gefässstämme u. s. w. in ihren Leistungen zugleich ergänzen und vertreten. So können es auch im Sinne der Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze die beiden Gehirnhälften, und selbst bis zu gewissen Gränzen Theile derselben Gehirnhälfte, so lange noch solche zur Vertretung da und leistungsfähig sind. Wo nicht, so hört die Möglichkeit der Vertretung auf, und in dieser Hinsicht sind nach der variabeln Constitution, dem Gesundheitszustande, den früheren Schädigungen des Gehirnes alle Fälle möglich, die vorkommen. Die Flouren s'schen Versuche mit Wegschneiden jetzt einer, dann beider Hirnhemisphären sind experimentale Beweise für diese Möglichkeit der Vertretung bezüglich der psychischen Leistungen, und geben zugleich, wie später zu zeigen, die einfache Unterlage für eine Erklärung der Theilbarkeit der niederen Thiere mit Verdoppelung der Seele im Sinne der Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze, indess sie die Räthsel und

Schwierigkeiten im Sinne der Ansicht vom einfachen Seelensitze nur mehren.

Das Einzige, was für den ersten Anblick von Erfahrungsseite her für die Ansicht vom einfachen Seelensitze zu sprechen scheinen kann, ist der oben besprochene Umstand, dass wir von unserem Körper so viele Theile, Arme, Beine und noch viel mehr verlieren können, ohne dass das geistige Leben und das Leben überhaupt etwas Anderes, als äussere Hülfswerkzeuge zu verlieren scheint, dass sicher das Nervensystem und hierin insbesondere das Gehirn den Herd einer Thätigkeit bildet, die zur Seelenthätigkeit in irgend einer bevorzugten Beziehung steht, und dass selbst vom Gehirne noch diess und das wegfallen kann, ohne dass die Integrität des Lebens und der Seele leidet; denn diess kann so gedeutet werden, dass es endlich überhaupt nur auf Erhaltung eines innersten und letzten Kernes als wesentlichen Trägers des Seelenlebens ankomme, und das Letzte, wohin man bei diesem Schlusse gehen kann, ist ein einfaches Wesen an einfachem Sitze. Ich habe nichts gefunden, was sonst auch nur mit einem Scheine für den einfachen Seelensitz von Seiten der Erfahrung spräche. Aber nachdem man so weit mit dem Schlusse gediehen ist, wird der Schlussstein dieses Schlusses, auf den zuletzt Alles ankommt, von der Erfahrung verweigert; sofern endlich jeder Theil des Gehirnes zerstört werden kann, ist's nur nicht zu viel auf einmal, ohne dass das Seelenleben zerstört oder gestört wird. Fehlt aber dieser Schlussstein, so fällt der ganze Schluss und müssen auch jene Thatsachen, die dahin zu weisen schienen, eine andere Deutung erhalten. Hingegen kann sich die Deutung im Sinne der Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze nicht nur auf ein erfahrungsmässig im ganzen Organismus gültiges Princip stützen, sondern zugleich den gefoderten Schlussstein im Flourens'schen Experimente und den Phänomenen der theilbaren Thiere aufweisen.

Es giebt zwar eine Thatsache, die sich für den ersten Anblick dem Vorigen entgegenstellen lässt. Durchschneidung des verlängerten Markes, d. i. des noch im Schädel liegenden Theiles, durch welchen das Gehirn sich in das Rückenmark fortsetzt, bringt beim Menschen und den höheren Thieren sicher und plötzlich den Tod hervor. Sollte nicht endlich hier mit dem Sitze oder der Hauptbedingung des körperlichen Lebens der Sitz der Seele als Centrum,

Unterhalter, Motor dieses Lebens zu suchen sein? Flourens*) hat den Punct im verlängerten Marke, durch dessen Verletzung oder Extirpation sicher und plötzlich Tod erfolgt, näher zu bestimmen gesucht, und hat gefunden, dass es eine nur etwa stecknadelkopfgrosse Partie grauer Gehirnmasse sei, die Spitze der V-förmigen grauen Masse im Schnabel des sog. *Calamus scriptorius*, mit welchem die vierte Hirnhöhle in die Rückenmarksspalte übergeht, welche kleine Masse**) er in Betracht dieser ihr exclusiv zugeschriebenen Eigenschaft *point vital* oder *noeud vital* nennt. Durchschneidet man sie oder sticht man einen kleinen Troikar (*emporte-pièce*) so in das verlängerte Mark ein, dass der Lebensknoten durch einen, denselben umgebenden, kreisförmigen Einschnitt vom übrigen verlängerten Marke getrennt wird, so fällt nach seinen Angaben das Thier wie vom Blitze getroffen zu Boden, der Athem, mitunter auch die Herzbewegung stockt plötzlich, und das Thier ist todt fast ohne Convulsionen und Agonie, während Einschnitte vor und hinter diesem Knoten noch Lebenserscheinungen wie das Athmen und den Herzschlag fortbestehen lassen. Nach Flourens beträgt der Abstand zwischen beiden Gränzen, wo der Einschnitt noch geschehen kann, ohne den Athmungs-, Circulations- und hiemit Lebensprocess aufzuheben, hiemit der Durchmesser des Lebensknotens, kaum 1 Linie. Ja es zeigt sich die Integrität dieses kleinen Theiles als Lebensbedingung wichtiger, als die des ganzen Gehirnes, indem bei denselben Thieren das gesammte grosse Gehirn mit seinen Basalganglien abgetragen werden kann, ohne dass Athmung und Herzthätigkeit unmittelbar alterirt oder gar sistirt werden. Ausserdem setzt Flourens mit dem Dasein dieses Knotens im verlängerten Marke die von ihm bemerkte Thatsache***) in Beziehung, dass bei durch Aethereinathmung betäubten Hunden, wenn Kneipen der hinteren Rückenmarksnervenwurzeln keine Zeichen von Empfindung, Kneipen der vorderen keine Bewegung mehr veranlasst, doch noch Zeichen des Schmerzes und Muskelcontraction in der Nackengegend wahrge-

*) Compt. rend. 1851. XXXIII. 437, XLVII. 803, frühere Untersuchung in s. Rech. expér. 1842. p. 204, spätere Notiz in Compt. rend. 1859. XLVIII. p. 136.

**) R. Wagner gedenkt derselben in dem S. 397 angeführten Aufsatze unter dem Namen des grauen Keils.

***) Compt. rend. 1847. XXIV. 253.

nommen werden, wenn man das verlängerte Mark kneipt oder berührt*), und plötzliches Aufhören aller Athembewegungen, hiemit plötzlicher voller Tod, wenn man nachmals noch den Lebensknoten durchschneidet, was er so deutet, dass der Lebensknoten noch fortlebe, wenn schon das Leben sonst im ganzen Rückenmarke durch die Aetherisirung unterdrückt sei.

Nach alle dem betrachtet Flourens diesen Punct, oder richtiger diese kleine Masse wirklich als den eigentlichen Sitz des Lebens, indem er u. a. sagt:

»On voit que ce point, premier moteur du mécanisme respiratoire, et noeud vital du système nerveux (car tout ce qui, du système nerveux, reste attaché à ce point, vit, et tout ce qu'on en sépare, meurt) n'est ainsi que je l'ai répété bien des fois, pas plus gros que la tête d'une épingle.«

»C'est donc d'un point, qui n'est pas plus gros qu'une tête d'épingle, que dépend la vie du système nerveuse, la vie de l'animal par conséquent, en un seul mot, la vie.«

»Les physiologistes m'ont souvent demandé de leur indiquer par un terme anatomique la place précise du point, que je nomme le point vital.«

»Je leur réponds: la place du point vital est la place marquée par la pointe du V de substance grise.«

»Sur le cerveau du chien, l'origine du nerf pneumo-gastrique est 5 millim. au-dessus du point vital. Sur le cerveau du lapin, l'origine du nerf pneumo-gastrique est 3 millim. au-dessus du point vital.«

Unstreitig erscheinen diese Thatsachen sehr frappant, und hienach gäbe es also, entgegen unserer obigen Angabe, doch einen winzig kleinen Theil, durch dessen Zerstörung oder Entfernung das Leben sicher aufgehoben wird, und man könnte um so eher geneigt sein, anzunehmen, dass hier mit dem Sitze oder der letzten Bedingung des körperlichen Lebens zugleich der Sitz der Seele im oben (S. 392) angegebenen Sinne zu suchen sei, als sich die Wurzeln zwar nicht aller, aber vieler wichtigen Nerven und darunter Sinnesnerven, bis zum verlängerten Marke, in welchem dieser *noeud vital* liegt, haben verfolgen lassen.

Nach einer genaueren Untersuchung jedoch stellt sich sowohl die Thatsache als die Deutung der Thatsache sehr anders, so dass statt einer Bestätigung der Ansicht vom einfachen Seelensitze fast die letzte Zuflucht derselben dadurch abgeschnitten wird.

---

*) Dass diess beim *noeud vital* insbesondere der Fall sei, wird nicht angeführt.

Unstreitig dürfen wir wirklich im *noeud vital* nach Flourens' und anderweiten Erfahrungen den verhältnissmässig kleinsten Theil sehen, dessen Zerstörung am sichersten, meist plötzlich, den Tod herbeiführt, und es dürfte den Anhängern des einfachen Seelensitzes wenig Hoffnung bleiben, eine andere eben so kleine Hirnpartie zu finden, welche hierin dem *noeud vital* den Vorrang streitig machte. Kann nun aber selbst dieser *κατ' ἐξοχὴν* sogenannte Lebensknoten unter geeigneten Massnahmen ganz extirpirt werden, ohne dass Körper- und Seelenleben aufhört, so wird man von jedem anderen stecknadelkopfgrossen Theile des Gehirnes um so mehr dasselbe annehmen dürfen (wie denn auch die oben S. 397 angeführten Versuche R. Wagner's hiefür direct sprechen), und zugeben müssen, Leben und Seele hängen überhaupt nicht an einem bestimmten Puncte, sondern an einem Zusammenhange, in dem jeder kleinste Theil durch andere kleinste Theile desselben Zusammenhanges vertreten werden kann. So ist es aber.

In der That hat Brown Séquard*) durch sehr zahlreiche, oft wiederholte und abgeänderte, Versuche an Meerschweinchen, Kaninchen und Hunden gezeigt, dass man den *noeud vital* mit seiner ganzen Umgebung herausschneiden kann, nur muss es nicht plötzlich mit einem Troikar oder mit einem sehr raschen Zirkelschnitte geschehen, sondern mit einem langsam geführten Schnitte, wodurch eine plötzliche starke Reizung dieser Stelle des verlängerten Markes vermieden wird; dann können Athem, sogar mit Beschleunigung und Herzschlag, mit den unzweideutigsten Zeichen von Empfindung und Willkühr noch mehr oder weniger lange, unter günstigen Umständen selbst Tage lang fortbestehen. Der plötzliche Tod, der bei Flourens' Operationsweise (und überhaupt raschen Durchschnitten des verlängerten Markes) eintritt, hängt nach Séquard's Discussion der verschiedenen Umstände gar nicht an sich und wesentlich an der Entfernung dieses Theiles, sondern daran, dass die bei raschem Schnitte unvermeidliche Reizung desselben dieselbe Stockung des Athems und mitunter Kreislaufes mitführt, welche man auch nach den Beobachtungen von Bernard, Budge, Séquard bezüglich des Ath-

*) Dessen Journ. de Physiolog. 1857. I. p. 217.

mens*), nach E. H. Weber u. A. bezüglich der Herzbewegung durch Galvanisirung der in das verlängerte Mark einmündenden Athemnerven erzeugen kann.

Mag nun diese Erklärung des abweichenden Erfolges triftig sein oder nicht, was ich nicht entscheiden kann, so genügt uns hier die Thatsache selbst, dass der Erfolg der Operation keinesweges ein nothwendiger ist, wie es der Fall sein müsste, wenn im sog. *noeud vital* der wesentliche Sitz des Lebens und der Seele zu suchen wäre.

Brown Séquard führt u. a. einen Versuch an (Exp. IV. p. 228), wo er einem erwachsenen Kaninchen mit dem Lebensknoten zugleich die ganze V-förmige graue Masse, deren Spitze der Lebensknoten ist, und etwas von der umgebenden weissen Masse extirpirte. Die Respiration ward, anstatt aufzuhören, ausnehmend beschleunigt, der Herzschlag dauerte fort; die anderweiten Erscheinungen wie folgt: »L'animal est à peine troublé et il marche presque sans tituber (il titubait davantage avant l'ablation du point vital, après la section des muscles du cou). La respiration s'exécute avec plus d'effort qu'à l'état normal. Moins d'une heure après l'opération, il a mangé.« Tags darauf: »Il se promène et il court lorsqu'on veut le prendre. Il ne semble y avoir aucune diminution de la vue et de l'audition. Les mouvements volontaires s'exécutent librement et l'animal semble être très-vigoureux. Il a mangé avec assez d'appétit.« Noch am 7. Tage nach der Operation versucht das Thier zu schlucken, wenn schon vergeblich; und stirbt unter allmälig zunehmender Athembeschwerde erst am achten.

In einem anderen, nicht ausführlich mitgetheilten, Falle (p. 232) sahe Brown Séquard ein Kaninchen die Operation 9 Tage und einige Stunden überleben. Mehrere andere Fälle werden als Beispiele von vielen mitgetheilt, wo das Leben mit Zeichen der Empfindung und Willkühr zwar nur kürzere Zeit, aber doch immer eine Zeit lang, nach der Operation fortbestand.

Auch ist nach schon früheren Versuchen von Brown Séquard**) keineswegs bei allen anderen Thieren schneller Tod die Folge der Entfernung des ganzen verlängerten Markes, ja bei manchen Thieren wird diese Operation geraume Zeit überlebt. So beträgt nach ihm das Maximum der Lebensdauer nach derselben bei Fröschen und Salamandern 4 Monate, bei Kröten 4 bis 5 Wochen, bei Schildkröten 9 bis 10 Tage, bei Schlangen und Eidechsen 4 bis 7 Tage, bei Fischen 1 bis 6 Tage, bei Vögeln 2 bis 21 Minuten, bei winterschlafenden Säugethieren 1 Tag, bei neugeborenen Hunden,

---

*) Bernard in *Leçons de physiol. exp.* 1853. p. 326; Budge in *Compt. rend.* XXXIX. 1854. p. 749; Séquard in d. *Compt. rend. de la Soc. de Biol. déc.* 1853.

**) *Exper. research.* New York 1853. *Compt. rend. de la Soc. de Biol. pour* 1851. Vol. III. p. 73; *Compt. rend. de l'Acad. des sc.* 1847. XXIV. p. 363; hier nach Funke Lehrb. d. Physiol. 1. Aufl. S. 1026.

Katzen und Kaninchen 34 bis 46 Minuten, bei erwachsenen 3 bis $3\frac{1}{4}$ Minute. Je höher die äussere Temperatur, desto schneller tritt der Tod ein; so sterben selbst Frösche bei 30 bis 40° C. schon nach wenig Minuten.

Die lange Lebensdauer der Frösche nach Entfernung des verlängerten Markes kann darauf geschrieben werden, dass bei diesen Thieren ein beschränkter Athmungsprocess durch die äussere Haut von Statten geht, wesshalb sie sich auch länger nach der Operation in Sauerstoffgas als in atmosphärischer Luft erhalten, und die leichtere Erhaltung des Lebens in kalter als warmer Luft darauf, dass der Athmungsprocess durch die Haut erstenfalls leichter genügt als letztenfalls.

Endlich verweist Brown Séquard auf künftig von ihm mitzutheilende pathologische Fälle beim Menschen, welche zu beweisen scheinen, dass die langsame Zerstörung dieser kleinen Masse grauen Markes den Tod hier nicht herbeiführt.

Zu allem Vorigen kommt nun noch, dass Flourens*) nach seinen neuen Untersuchungen innerhalb des Lebensknotens selbst eine Vertretung einer Hälfte durch die andere anerkennt, so dass, wenn blos eine Hälfte durchschnitten wird, der Tod nicht erfolgt, sondern nur erfolgt, wenn beide durchschnitten werden, so dass der Lebensknoten in dieser Hinsicht ganz unter dasselbe Princip tritt, welches wir im übrigen Organismus finden. Er fügt einen Beweis mehr zu den übrigen hinzu, und vielleicht den schlagendsten Beweis, dass jeder nicht zu grosse Theil seine Vertretung durch andere finden kann.

Wenn die Thatsache, dass sich weder im *noeud vital*, noch sonst wo ein Punct hat finden lassen, mit dessen Zerstörung das diesseitige Leben sicher zerstört wird, direct gegen die Ansicht vom einfachen Seelensitze spricht, so steht hingegen die grosse und vorzugsweise Wichtigkeit, welche doch die Integrität des Flourens'schen Lebensknotens für die Integrität des Lebens hat, die leichte und bei manchen Operationsweisen doch sichere Zerstörung des Lebens bei seiner Zerstörung in keiner Weise im Widerspruche mit der Ansicht von einem, über den Lebensknoten hinausgreifenden, ausgedehnten Seelensitze; indem der Tod der Seele hienach vielmehr von der ausgedehnten Sistirung wichtiger körperlicher Lebensfunctionen, welche nach dem organischen Zusammenhange mit der Zerstörung des Lebensknotens eintritt, als von Zerstörung dieses kleinen Theiles selbst abhängig gemacht werden kann. Der Lebensknoten verdankt hienach selbst seine

*) *L'Instit.* 1858. p. 381. *Compt. rend.* XLVII. 803.

Bedeutung nur seinem Zusammenhange, und hat, abgesehen von dem Zusammenhange, in dem er sich befindet, keine grössere Bedeutung für das Seelenleben, als irgend ein anderes gleich grosses Häufchen grauer Masse, verhält sich vielmehr in dieser Hinsicht ganz wie ein Stift oder Ventil in manchen Maschinen, mit dessen Zerstörung oder Entfernung die ganze Maschine plötzlich ins Stocken gerathen kann, ohne dass man doch desshalb den Sitz oder die wesentliche Bedingung der Leistung der Maschine darin zu sehen hat.

Gesetzt aber, der Tod erfolgte wirklich unausweichlich plötzlich mit Zerstörung des Lebensknotens oder irgend einer anderen Stelle, so würde damit nur eine der Foderungen, welche die Ansicht vom einfachen Seelensitze zu stellen hätte, befriedigt, aber dieselbe noch keinesfalls erwiesen sein, da es eine andere Frage ist, ob mit Zerstörung eines Punctes die Seele aus diesem Leben fällt, und ob dieser Punct zugleich ein Centralpunct in dem Sinne ist, an den wir den Begriff des Seelensitzes geknüpft haben. In der That aber haben wir gar keinen erfahrungsmässigen Grund, dem sog. Lebenspuncte eine besonders wichtige centrale oder functionelle Bedeutung für die höheren Seelenfunctionen beizulegen.

Gegen die hier erhobene Schwierigkeit, dass sich kein *noeud vital* in strengem Sinne finden lasse, scheint mir nur etwa folgende Ausflucht möglich. Man kann sagen, sei es nicht der Flourens'sche, werde es ein anderer sein, der in irgend einem Verstecke ruhe, und die pathologischen und physiologischen Erfahrungen nur nicht ausreichend, ihn finden zu lassen, zumal ja nicht nothwendig sei, dass der darauf zu beziehende einfache Seelensitz immer genau denselben Ort einhalte, vielmehr möglich, dass er im Falle drohender oder wirklicher Zerstörung des Sitzes den Ort wechsele. Könne diess auch nicht geschehen, ohne dass die Seele ihre günstigste Stellung zum Körper verliere; so zeige sich ja auch der Nachtheil solcher Zerstörungen.

Wirklich hat Herbart eine Beweglichkeit des einfachen Seelensitzes statuirt.

Nun sind die Annahmen, dass das anatomische Messer den einfachen Seelensitz bisher nicht zu treffen vermocht, und dass die Seele vor demselben zu flüchten vermöge, unstreitig gleich unwahrscheinlich; doch müssten sie gestattet werden, wenn die Ansicht vom einfachen Seelensitze sonst durch einen Zusammenhang

thatsächlicher Puncte gesichert wäre, da sie dann durch die Haltbarkeit der Ansicht mit gehalten würden; sollte sich aber diese Ansicht auch sonst überall nur auf Gründe stützen können', die erst durch die vorausgesetzte Haltbarkeit der Ansicht haltbar werden, so ist schwer zu sagen, worauf sie sich eigentlich stützt. Indem ich folgends zu zeigen suche, dass diess die wirkliche Sachlage ist, kann ich mich freilich nur gegen den einzigen Vertreter der Ansicht vom einfachen Seelensitze wenden, bei dem ich überhaupt einen ernsthaften Versuch zur Beseitigung ihrer Schwierigkeiten finde; denn meist hat man sich die Schwierigkeiten gar nicht klar gemacht. Es kann aber meines Erachtens nur beitragen, die Entscheidung für die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze sicher zu stellen, wenn sich zeigt, welche Wege der Scharfsinn eines der scharfsinnigsten Vertreters der gegentheiligen Ansicht einschlagen musste, diese zu halten.

Zur Beseitigung der anatomischen Schwierigkeit, dass die Nervenfasern nicht in einem Puncte zusammentreffen, wie man im Falle des einfachen Seelensitzes zu erwarten hätte, bemerkt Lotze, es können dessenungeachtet die Sinneserregungen insofern den Sitz der Seele treffen, als die Nervenfasern entweder in ein nervöses Parenchym einmünden, in dem der Sitz der Seele ist, und also doch theilweise zu diesem Sitze gelangen (med. Psychol. 118) oder sich in wenige, sei es auch nur eine einzige Nervenbahn, die zum Sitze der Seele führt, vereinigen (Mikr. I. 323. 328). Die erste Voraussetzung erschien freilich teleologisch so unbefriedigend, dass diess wohl Hauptgrund war, dass Lotze ihr in seinem späteren Werke die zweite substituirte. Indem aber beiden gleich sehr die Schwierigkeit entgegensteht, dass sich in dem Parenchym oder der einfachen Leitungsbahn die Sinneserregungen zu einer mittleren mischen müssten, also die Unterscheidungsfähigkeit derselben nicht stattfinden könne, die doch erfahrungsmässig besteht, lehnt Lotze (med. Psych. 121. Mikr. I. 323) diess dadurch ab, dass möglicherweise auch das Parenchym oder »das Gefüge einer und derselben Faser durch viele Erregungen gleichzeitig durchlaufen werden könne, ohne dass diese einander bis zum Unbemerklichwerden ihrer wesentlichen Charaktere störten.« »Bieten doch die Schall- und Lichtwellen, die in unermesslicher Mannichfaltigkeit sich kreuzend denselben Luftraum gleichzeitig durchdringen, auch ausser uns ein reichhaltiges Beispiel von Be-

wegungen, die in demselben Stoffe verlaufend nur in so beschränkter Ausdehnung einander stören, dass ihr gegenseitiger Einfluss auf einander beinahe nur der Wissenschaft bekannt wird, der gewöhnlichen Wahrnehmung aber ganz entgeht.«

Nun aber vermögen wir doch factisch nicht, zusammengesetzte Lichtschwingungen in ihre Farbencomponenten zu zerlegen, wenn sie durch dieselbe Opticusfaser eintreten; und soll die zuleitende Nervenbahn zum einfachen Seelensitze nicht eine besondere *qualitas occulta* vor der Opticusfaser voraus haben, so werden wir sie eben so wenig zu zerlegen vermögen, wenn sie in Zusammensetzung dadurch anlangen; oder müssten sie eben so zerlegen können, wenn sie durch die Opticusfaser so anlangten. Kurz factisch verwirklicht sich die Möglichkeit, auf die sich Lotze beruft, in unserem Nervensysteme nicht. Lichtschwingungen können sich freilich draussen kreuzen und doch noch von uns unterschieden werden, aber nur, wenn sie aus ihrer Kreuzung hervorgehend nach oder neben einander gesondert unser Auge treffen, wie Wellen auf dem Teiche auch einander durchschreiten können, und ihre Wirkungen gesondert geltend machen können; nach Lotze aber sollen alle Lichtschwingungen, welche die unzähligen Puncte einer Gegend in unser Auge senden, gleichzeitig durch dieselbe Nervenbahn zugeleitet und in ihrer Zusammensetzung gleichzeitig am einfachen Seelensitze anlangend, noch ihre Unterscheidungsfähigkeit behalten; das kann nach Erfahrungen nicht sein.

Man könnte einwenden, dass die Seele doch aus einem Gemische von Tönen, welches durch denselben Hörnerv anlangt, durch Aufmerksamkeit die einzelnen Töne herauszuhören vermag. Aber wir dürfen uns beim Gesichte nicht auf eine Analogie mit dem Gehöre berufen, wenn beim Gesichte directe Thatsachen widersprechen; gar Vieles gilt für den einen Sinn, was für den anderen nicht gilt. Ueberdiess sind im 33. Kapitel gute Gründe geltend gemacht worden, wonach selbst das Heraushören einzelner Töne aus einem Tongemische nur insofern möglich sein dürfte, als dieselben durch verschiedene Acusticusfasern percipirt werden.

Der scharfsinnig eingeführte und ausgeführte Begriff der sog. Localzeichen, wodurch Lotze die Entstehung zusammengesetzter räumlicher Anschauungen und Tastbilder erklärbar zu

machen sucht, hebt die Schwierigkeit nicht nur nicht, sondern kennt sie gar nicht.

Ich führe hier einige besonders charakteristische Stellen aus Lotze's berühmter und einflussreich gewordener Lehre von den Localzeichen *) an, ohne sie in ihrer ganzen feinen Ausführung, die man selbst nachlesen muss, die aber doch nur durch eine haltbare Grundlage haltbar wird, hier wiedergeben zu können:

p. 328. »So wie eine veränderliche Grösse abnehmen kann bis zu einem Nullwerthe und jenseit desselben wieder wachsen, so geht die Regelmässigkeit der geometrischen Einwirkungen unfehlbar in einem Puncte vollkommener Unräumlichkeit zu Grunde und wird jenseits desselben wiedererzeugt. Und wie eine veränderliche Grösse sich von Neuem entfaltet, nicht weil sie ihre früheren wirklichen Werthe auf verborgene Weise mit in den Nullwerth hineingeschleppt, sondern weil das Gesetz ihres Wechsels sich durch dieses augenblickliche Verschwinden reeller Werthe hindurch erhält, so werden auch die geschehenden Eindrücke in der Seele sich in der Seele wieder zu einer Raumwelt ausbreiten, nicht indem sie eine verborgene Räumlichkeit in das Bewusstsein eingeschwärzt, sondern weil sie vermocht haben, zwischen den intensiven Erregungen der Seele, die sie erzeugten, Relationen zu unterhalten, aus denen in der reconstruirenden Thätigkeit der Anschauung das Bild der veranlassenden Objecte wiederentstehen muss.«

p. 330. »Finden wir irgendwo Veranstaltungen getroffen, um eine Vielheit äusserer Reize in geordneten geometrischen Verhältnissen auf das Nervensystem wirken zu lassen, so sind uns solche Einrichtungen allerdings als Andeutungen wichtig, dass die Natur aus jenen räumlichen Beziehungen etwas für das Bewusstsein zu machen beabsichtigt. An sich jedoch erklären sie nichts, und es ist nothwendig, überall in den Sinnesorganen zugleich jene anderen Mittel aufzusuchen, durch welche die Lage der erregten Puncte noch neben ihrer qualitativen Erregung auf die Seele zu wirken vermag. Da nun die spätere Localisation eines Empfindungselementes in der räumlichen Anschauung unabhängig ist von seinem qualitativen Inhalte, so dass in verschiedenen Augenblicken sehr verschiedene Empfindungen die gleichen Stellen unseres Raumbildes füllen können, so muss jede Erregung vermöge des Punctes im Nervensysteme, an welchem sie stattfindet, eine eigenthümliche Färbung erhalten, die wir mit dem Namen ihres Localzeichens belegen wollen. Ueber die nähere Natur dieses Localzeichens werden wir uns bald weiter zu äussern haben; wir können es hier nur als einen physischen Nervenprocess überhaupt bezeichnen, der sich constant für jede Stelle des Nervensystemes mit jenem veränderlichen Nervenprocesse associirt, welcher an derselben Stelle dem qualitativen Inhalte der wechselnden Empfindungen zu Grunde liegt. Beide Processe stören einander entweder gar nicht, oder in höchst unbeträchtlichem Masse, und während die Seele fortfährt, unter dem Einflusse des letzteren ihre gewöhnlichen qualitativen

*) Lotze, medicin. Psychol. 325 ff.

Empfindungen zu bilden, wird jede von ihnen zugleich von einer anderen Erregung begleitet, welche abhängig von dem Localzeichen ihre spätere Einordnung an eine Stelle des vorgestellten Raumes bedingt.«

p. 334. »Diese Erwägungen bestimmen uns, jene Localzeichen der Nervenerregungen im Allgemeinen nicht in passiven Nebenumständen zu suchen, die jede Stelle des Nervensystemes nach ihrer Structur noch neben den Empfindungsreizen nur erleidet, sondern in den Bewegungen, welche sie vermöge ihres Zusammenhanges mit dem übrigen Nervensysteme nach Weise des Reflexes hervorzubringen strebt*).«

p. 335. »Für alle unsere physiologischen Betrachtungen reicht die Vorstellung hin, dass die Raumanschauung ein der Natur der Seele ursprünglich und *a priori* angehöriges Besitzthum sei, das durch äussere Eindrücke nicht erzeugt, sondern nur zu bestimmten Anwendungen provocirt würde.«

Unstreitig ist es schwer, sich von den Localzeichen als motorischen Tendenzen, wofür sie Lotze im Wesentlichen erklärt, eine klare Vorstellung zu machen. Was ist eine Tendenz, — die exacte Physik kennt das Wort nicht — wenn man weder wirkliche Bewegungen noch geistige Strebungen, die ja erst in der Seele erwachen, darunter denken soll; ist eine Fortpflanzung von Druck oder Spannung oder doch eine leise Bewegung damit gemeint? und etwas sollte man doch darunter denken können, um nicht die Leistung, die den Localzeichen auferlegt wird, einem blossen Worte aufzuerlegen und die Leistung selbst zu einer *qualitas occulta* zu machen. Es ist mir nicht geglückt, darüber Klarheit zu erlangen.

Jedenfalls können die verschiedenartigen Localzeichen, welche den Erregungen der einzelnen Sehnerven- und Tastnervenfasern je nach ihrer Lage anahften, in dem Parenchym oder der einfachen Verbindungsfaser, wodurch zuletzt Alles zur Seele gelangt, nur zu einem zusammengesetzten Localzeichen verschmelzen. Nun wird der Seele die Aufgabe gestellt, und man darf wohl sagen, die Fähigkeit octroyirt, die Qualität dieser Verschmelzung als räumliche Extension und Anordnung zu expliciren. Aber unter welcher Form man auch die Localzeichen denken möchte, ist es nicht eine mystische, so will sich keine einer solchen Fähigkeit fügen. Lotze selbst bedient sich vergleichsweise des Ausdruckes zur Charakteristik der Localzeichen, »dass jede Erregung vermöge des Punctes im Nervensysteme, wo sie stattfindet, eine eigenthüm-

*) Auch p. 340 wird gesagt, dass »die Localzeichen in der Erweckung motorischer Tendenzen bestehen.«

liche Färbung erhalte.« Niemand ist sonst glücklicher, eine Ansicht treffend auszudrücken, als Lotze; aber die zusammengesetztesten Färbungen tragen nicht die Spur eines Vermögens in sich, von der Seele räumlich explicirt zu werden.

Nach Lotze (p. 339) »ist die Isolation der Nervenfasern und die Lage ihrer centralen Enden nur insofern von Belang, als beide ein Mittel sind, jeden einzelnen Nervenprocess mit einem qualitativ bestimmten Localzeichen zu versehen, durch welches seine spätere Einordnung in den Raum bedingt wird, in welchem die Seele ihre intensiven Wahrnehmungen entfaltet.« Aber was kann diese Isolation in den Primitivnervenfasern fruchten, wenn sie doch in der allgemeinen Verbindungsfaser, worein sie münden, und welche zum Seelensitze führt, eben so wieder aufgehoben werden muss, als wenn die Zweige desselben Tastempfindungskreises in eine gemeinsame Tastnervenfaser einmünden, wo sie trotz ihrer verschiedenen Lage, die ihnen wohl ein verschiedenes Localzeichen einprägen könnte, keineswegs im Stande sind, discrete Raumempfindungen zu vermitteln, oder was hindert umgekehrt das Zustandekommen von Localzeichen bei den Zweigen desselben Empfindungskreises?

Lotze erhebt selbst den zweiten Einwand (Mikr. I. 323), »dass vor Allem die Fähigkeit der Seele, den Gliedern genau abgemessene Impulse zu Bewegungen mitzutheilen, einer solchen Anordnung (wie von ihm vorausgesetzt worden) entgegenstehe. Damit diese bestimmte Beugung oder Streckung des Armes geschehe, sei es nöthig, dass diesem und keinem anderen motorischen Nerven diese und keine andere Grösse des Anstosses zugeführt werde; undenkbar, wenn nicht jeder dieser einzelnen Fäden sich ununterbrochen bis zum Orte der Seele erstrecke, damit sie ihn unmittelbar finden und erregen könne.« Aber, entgegnet er (Mikr. I. 325), die Qualität des Seelenzustandes ist es, »wovon nicht nur die Grösse und Art, sondern auch der Ort der Wirkung abhängen, die der Naturlauf an ihn knüpft.....« »Von den unzähligen Schallwellen, welche die Luft durchkreuzen, wird jede ohne Zweifel in einer gespannten Platte, einer Fensterscheibe, welche sie trifft, irgend welche Erschütterungen hervorbringen, aber nur eine von ihnen wird die Platte zum Mittönen bringen, nur die nämlich, deren Schwingungen regelmässig zu wiederholen die Platte durch ihre eigene Structur und Spannung befähigt

ist.....« »Läge der Seele in der That die ganze Claviatur der motorischen Nervenenden geordnet vor, so könnte die Art ihres Einflusses keine andere sein. Sie würde nicht in jedem Falle einen übrigens gleichartigen Stoss ausführen, dem sie nur eine bestimmte Richtung gäbe, und der nur blos desswegen, weil er in dieser Richtung auf dieses, nicht auf jenes Nervenende trifft, auch nur diese, nicht eine andere Bewegung erzeugen müsste, sie kann für jede beabsichtigte Bewegung vielmehr nur einen eigenthümlichen qualitativen Zustand, einen Ton von bestimmter Höhe in jenem Gleichnisse hervorbringen, und von der Wahlverwandtschaft, welche zwischen diesem Zustande und der eigenthümlichen Leistungsfähigkeit eines bestimmten Nervenursprunges obwaltet, wird erst die räumliche Richtung abhängen, welche der Einfluss der Seele nimmt, und welche er nur täuschend von Anfange an schon inne zu halten schien.....«

Aber, verstehe ich diese Auffassung recht, was vielleicht nicht ganz der Fall ist, so kann ich nur einen halben Rückgang auf die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze darin finden. Denn, da zugestandenermassen die Nervenursprünge nicht unmittelbar, sondern nur mittelst eines zwischeneingeschobenen Parenchyms oder einer einfachen Bahn mit dem Seelensitze zusammenhängen, so kann nur ein zusammengesetzter Impuls oder eine zusammengesetzte Wellenbewegung vom Seelensitze aus sich zu den Nervenursprüngen fortpflanzen; und da er sich hier zwischen ihnen nach der Qualität der psychischen Anstösse theilen soll, so muss also die Qualität der Seelenthätigkeit über den gemeinsamen Verbindungsweg hinaus die Austheilung dieser Anstösse bewirken, also doch die Weise der körperlichen Thätigkeit auf einmal in einer Mehrheit von Puncten bestimmen; und der Unterschied von dem, was die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze will, ist nur noch der, dass nach dieser die Qualität der Seelenthätigkeiten nicht blos die Austheilung von Impulsen an eine Mehrheit von Puncten, sondern gleich den Gang von Bewegungen in einer gewissen zusammenhängenden Ausdehnung des Körpers bestimmt. Indem man aber die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze halb zugiebt, giebt man die Ansicht vom einfachen halb verloren.

Da Lotze eine Zerlegbarkeit der beim Seelensitze verbunden anlangenden Impulse durch das Wirken der Seele statuirt, so kann allerdings die Annahme einer damit parallel gehenden Zerlegbar-

keit der von der Seele ausgehenden zusammengesetzten Impulse nicht befremden, und es ist diese Annahme überhaupt fundamental für die ganze Ansicht vom einfachen Seelensitze. Denn nicht nur hängt daran die Möglichkeit, unterschiedene Sinnesempfindungen zugleich zu haben und den Muskeln geordnete Anstösse zu ertheilen, sondern auch die Möglichkeit, der mit dem Wachsthume des geistigen Vermögens wachsenden Verwickelung des Gehirnes eine vernünftige Bedeutung beizulegen. Denn was kann der Anhang der ungeheuer verwickelten grossen Hirnhemisphären am einfachen Seelensitze beim Menschen wollen, wenn von allen verwickelten Bewegungen darin zuletzt nur eine zusammengesetzte Resultante durch das Parenchym oder die Verbindungsfaser beim Seelensitze anlangt; wofern nicht abermals diese Zerlegbarkeit zu Hülfe genommen wird.

Die wichtigsten Schwierigkeiten werden durch eine so einfache Annahme wie mit einem Zauberschlage gehoben; aber die Verbindungsfaser gewinnt dadurch auch ganz den Charakter einer Zauberruthe, welche alle noch so grosse Schwierigkeiten mit demselben einfachen Schlage zu überwinden sich vermisst, ohne eines Naturgesetzes dabei zu bedürfen oder zu achten.

Was die Thatsache anlangt, dass ein in Eins empfindendes Thier durch Theilung in zwei dergleichen zerfallen kann, so scheint sie freilich weder nach Herbart's noch Lotze's Auffassung eine sonderliche Schwierigkeit zu bieten, sofern der ganze Körper nach ihnen aus schlummernden Seelen besteht, und die Trennung Anlass zum Erwachen einer neuen Seele sein kann. Aber wenn ein symmetrisch gebautes Thier symmetrisch getheilt wird, in welchem beider Theile soll die alte Seele bleiben, und in welchem die neue erwachen? Natürlich, wird man sagen, die alte Seele bleibt in dem Theile, wo sie ist, im anderen erwacht eine neue; oder auch, die alte Seele stirbt, und es erwachen zwei neue. Aber beides geht nicht, denn ich kann das Thier von der einen Seite und ich kann es von der Gegenseite her durch allmäliges Wegschneiden bis auf die Hälfte herabbringen, und es besteht immer die Continuität des alten Lebens fort. Ich denke wenigstens, dass sich die Erscheinungen so ausnehmen, denn selbst freilich habe ich keine Versuche darüber angestellt. Wie aber soll man diess mit einer Ansicht vereinbaren, nach der die Seele doch nur auf einer Seite auf einmal sitzen kann? Nach der Ansicht vom aus-

gedehnten Seelensitze ist das ganz einfach. Die einander gleichen Theile des ausgedehnten Seelensitzes unterstützen sich in derselben psychischen Leistung, so lange sie zusammenhängen, und geben die gleiche Leistung getrennt, wenn sie nicht mehr zusammenhängen, nur anfangs schwächer, bis jede Hälfte die fehlende ersetzt hat, wie in einem künftigen Kapitel ausführlicher besprochen wird. Dazu bedürfen wir keiner Hypothese eines wunderbaren Einflusses der mechanischen Trennung eines Thieres, sondern blos des für den ganzen Organismus factisch geltenden Principes des solidarischen Zusammenwirkens und der solidarischen Vertretung, dessen Anwendbarkeit auf den engeren Seelensitz bezüglich der psychischen Leistungen durch Flourens' Versuche am Gehirne überdies direct bewiesen ist, so dass eigentlich hier gar nichts von Hypothese übrig bleibt. Es müsste freilich nicht so sein, aber es ist so, und weil es so ist, muss der Seelensitz ein ausgedehnter sein.

Blicken wir zurück: die Ansicht vom einfachen Seelensitze will sich durch Erfahrungen stützen. Sie sucht den Ort im Gehirne, von dem alle Nerven auslaufen, in dem alle zusammenlaufen; ein solcher Ort ist nicht zu finden. Sie sucht den Punct, mit dessen Zerstörung die Seele aus dem Leben fällt, einen solchen Punct giebt es nicht. Sie setzt voraus, es werde eine Verbindungsfaser zum Seelensitze und eine Fähigkeit der Seele geben, das, was in einer Faser verschmolzen anlangt, zu trennen; weder die Verbindungsfaser, noch ein solches Vermögen ist zu finden. Sie will durch Spaltung eines Thieres den Theil mit dem Seelensitze vom Theile ohne Seele trennen, und beide Theile bleiben beseelt.

Eine solche Ansicht kann nicht zur Grundlage exacter Untersuchungen über die Beziehung von Leib und Seele gemacht werden, indem sie sich selbst nur auf die Voraussetzung einer Unmöglichkeit exacter Forschung in diesem Gebiete stützen kann; denn alles, was im Sinne einer solchen zu benutzen wäre, eine Ansicht zu begründen, wird hier beiseitegesetzt, und eine Ansicht auf gegentheilige Voraussetzungen gestützt, die der Forschung theils unzugänglich sind, theils ihren Resultaten widersprechen.

Unstreitig ruht eine Ansicht, die sich so zu den Thatsachen stellt, überhaupt nicht auf Betrachtung der Thatsachen selbst, sondern auf allgemeineren Gründen, und es liesse sich allgemein gesprochen denken, dass hier das Bindende läge, was wir auf dem

Gebiete der Thatsachen vermissen. Diess ausführlich zu discutiren, ist diese Schrift nicht geeignet, da sie nur auf Thatsachen fussen kann, und auf den Streit der philosophischen Systeme einzugehen, hier weder die Absicht noch von Erfolg sein kann. Nachdem jedoch mit den vorigen Erörterungen der dringenderen und hier allein wesentlichen Aufgabe, den Vorzug, den wir der Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze ertheilen werden, auf Factisches zu gründen, entsprochen ist, möge einigen beiläufigen Zusatzerörterungen über die allgemeineren Fragen, von denen man unsere Frage etwa abhängig machen könnte, der Raum noch gegönnt werden, mit Rücksicht, dass das hier massgebende Interesse an der Frage doch nicht das allein massgebende ist, was bei der Entscheidung derselben in Betracht kommt, sondern aus allgemeinem Interesse allerdings auch die allgemeinen Fragen, womit sie zusammenhängt, in Mitrücksicht zu ziehen sind.

Hauptsächlich ist es die Ansicht von der einfachen Natur der Seele, die selbst wieder ihre hier nicht zu verfolgenden Wurzeln hat, in welcher die Ansicht vom einfachen Sitze derselben wurzelt. Nun kann man es zuvörderst in Frage stellen, ob nicht Einheit der treffendere Ausdruck für die Natur der Seele sei, als Einfachheit, und diese Frage scheint mir zu bejahen, da die Seele eine so grosse Mannichfaltigkeit von Momenten in sich einschliesst und entfaltet, was dem Begriffe der Einfachheit, aber nicht der Einheit widerspricht. Denn der Unterschied der Einheit von der Einfachheit liegt eben darin, dass jene als eine Verknüpfung oder ein Verknüpfendes fassbar ist, wie denn selbst die Zahleneinheit noch in unzählige Bruchtheile zerlegbar ist. Warum aber sollte die Seele als einheitliches, eine Mannichfaltigkeit in sich verknüpfendes, Wesen nicht vielmehr an ein körperliches System, was seinerseits die Verknüpfung eines Mannichfaltigen ist, als einen Punct in diesem Systeme gebunden sein. Jenes deckt sich mehr als dieses; und eine metaphysische Schwierigkeit liegt jedenfalls hier nicht vor, ausser die man sich selbst macht.

Nun kann man freilich, und so geschieht es in den monadologischen Systemen, die Einheit der Seele von der metaphysischen Einfachheit eines Grundwesens hinter der Mannichfaltigkeit der Seelenerscheinungen abhängig machen. Aber sei es, dass eine Metaphysik dereinst gefunden werde, welche den Begriff dieser Einheit und die Abhängigkeit der Einheit von der Einfachheit kla-

rer und widerspruchsloser als seither begründet — ich selbst habe nie Frucht in den Erklärungen des Wirklichen durch das Hinterwirkliche finden können — so wäre hiemit noch nichts weniger als der einfache Seelensitz begründet. Denn an sich könnte nichts hindern, einer metaphysisch einfachen Seele eben so das Vermögen zuzutrauen, durch ihr Wirken gleichzeitig ein System von Bewegungen verschiedener auseinanderliegender Körpertheile zu vermitteln, ohne nach dem Principe des Stosses die Bewegung von den einen zu den anderen erst successiv überzupflanzen, als die Sonne vermöge ihrer Gravitationswirkung factisch ein solches besitzt; und es ist nicht abzusehen, wiefern eine metaphysische Einfachheit die Seele nöthigen könnte, vielmehr von einem bestimmten physischen Puncte, als von einem körperlichen Zusammenhange aus den Angriff auf die übrige Körperwelt zu nehmen.

Diess allgemein gesprochen; aber besondere Auffassungen können freilich dazu nöthigen. Das Herbart'sche System könnte vielleicht noch stehen, trotzdem, dass die Ansicht vom einfachen Seelensitze fällt, sollte es sonst bestandfähig sein; weil es nicht an diese Ansicht streng gebunden sein mag, wenn sich gleich ihr Urheber daran gebunden hat; anders aber scheint es mit dem Lotze'schen Systeme. Denn Lotze*) identificirt die einfachen Seelenwesen mit den einfachsten Elementen der Körperwelt, als welche innerlich die Seelenerscheinungen zu geben vermögen, indess sie nach aussen nur physische Erscheinungen vermitteln; und unsere Seele selbst ist blos ein seinem Wesen nach gleichartiges, seiner Stellung und inneren Entwickelung nach bevorzugtes Atom inmitten des Systemes der an sich ihm ebenbürtigen gleich seelischen Körperatome**). Hier wird die Ansicht vom einfachen Seelensitze eine nothwendige, da zuzugestehen ist, dass ein einfaches Atom für sich allein nicht Kraft haben kann, auf merkbare Strecken einen Zusammenhang ausgedehnter merkbarer Bewegungen zu unterhalten, wonach (bei Ausschluss mystischer Vermittelungen) nur das Princip des auf Molecularwirkung rückführ-

---

*) Mikrok. I. 371 ff.

**) Wie mir gesagt worden, hat Drosbach in den Schriften »die Harmonie der Ergebnisse der Naturforschung mit den Foderungen des menschlichen Gemüthes« und »die Genesis des Bewusstseins nach atomistischen Principien« unabhängig von Lotze eine ähnliche Ansicht aufgestellt; doch kenne ich diese Schriften nicht aus eigener Ansicht.

baren Stosses an die Nachbaratome und von Seiten der Nachbaratome her übrig bleibt, den Zusammenhang zwischen der Seele und ihrem Körper zu vermitteln.

Die Ansicht Lotze's über die Natur der Seelen und ihre Beziehung zur Körperwelt ist unstreitig philosophisch möglich; aber es stehen ihr so viele andere philosophische Ansichten darüber entgegen, dass die Entscheidung zwischen ihnen erst zu suchen, ehe eine Entscheidung danach zu fällen ist. Ich glaube selbst, dass man, um weder bei einer Halbheit noch Einseitigkeit stehen zu bleiben, noch in der Orientirung über die Wirklichkeit zu einer unfasslichen Hinterwirklichkeit zurückzugehen, in letzter Instanz nur zwischen den zwei fundamental entgegengesetzten Ansichten zu wählen hat, entweder die ganze Seelenwelt der Zerspaltung der daran geknüpften Körperwelt gemäss bis in das Letzte in Lotze's Sinne zu spalten und wieder durch etwas, was geistähnlich, doch nicht Geist ist, zu verkitten, oder die ganze Welt in unserem Sinne von vorn herein einheitlich durch einen Geist zu verknüpfen und zu gliedern. Die eine wie die andere dieser Ansichten kann consequent in sich entwickelt, mit unseren allgemeinsten Interessen in Bezug gesetzt werden*); man kann sich in die eine und die andere so hineinleben, dass sie ganz natürlich, die gegentheilige ganz unnatürlich scheint. Woher soll dann die Entscheidung kommen?

Ich glaube, es wird hier sein, wie es in der Physik mit der Undulations- und Emissionstheorie gewesen: jede hat sich consequent in sich zu einer vollständigen Theorie entwickelt; jede hat ihre Vertreter gehabt, noch jüngst stand Biot für die eine, indess Fresnel für die andere; woher ist endlich die Entscheidung doch gekommen? Daher, dass die Foderungen, welche beide Theorieen an die Erfahrung stellten, in gewissen Puncten auseinanderwichen, in wenigen, jedoch fundamentalen; und die Erfahrung hat der einen Recht gegeben. Solche Puncte aber scheinen mir bezüglich des Streites, um den es sich hier handelt, in denen vorzuliegen, welche sich auf die Frage nach der Einfachheit oder Ausdehnung des Seelensitzes beziehen, und ich halte es für einen günstigen Umstand, dass sich hier einmal die so seltene Möglichkeit zeigt,

*) Es ist von Lotze in seinem Mikrokosmus, von mir in meiner Schrift Zend-Avesta versucht worden.

zwischen philosophischen Systemen durch Thatsachen zu entscheiden.

Der Hauptvortheil der monadologischen Systeme, wozu das Lotze'sche gehört, möchte darin liegen, dass es ihnen am leichtesten fällt, die Unzerstörbarkeit der Seele zu behaupten, indem die Einfachheit der Monade kein Zerfallen erlaubt. Nun können einfache Mittelpuncte, Schwerpuncte zwar nicht zerfallen, aber doch verschwinden, wenn das, wozu sie gehören, zerfällt; und insofern schiene diese Sicherstellung doch nur scheinbar, aber indem jene Systeme eine Selbständigkeit der Monaden oder einfachen Wesen postuliren oder durch das einfache Atom hypostasiren, erscheint auch die Unsterblichkeit der Seele auf die einfachste Weise gesichert. Nach Erfahrung zwar kann die Seele trotz ihrer vorausgesetzten Selbstbestandfähigkeit nur unter besonderen Bedingungen der Leiblichkeit thätig und wach sein, und hiemit kehrt im Grunde für die monadologische Ansicht die ganze Schwierigkeit jeder anderen Ansicht wieder, wie es nun möglich werde, nach dem Tode das ohne Leib zu leisten, was sie im Leben nur mit einem Leibe leisten konnte, oder wo sie einen neuen Leib finden könne. Jedoch die nächstliegende Schwierigkeit ist einfach überwunden.

Aber die einfachsten Wege sind nicht immer die triftigsten und die erste und einfachste Befriedigung nicht immer die zulänglichste. So unzerstörbar ein Punct ist, so unzerstörbar ist der Zusammenhang des Ganzen und die causale Auseinanderfolge in dem Ganzen, dessen Theil unser System ist. Und wenn unsere Seele schon im Diesseits nicht von einem Puncte, sondern von einem sich stets ändernden und wechselnden und bis zu gewissen Gränzen wachsenden Theile des ganzen Zusammenhanges getragen wird, so kann sie im Jenseits auch von einem anderen und weiteren Kreise dieses unzerstörbaren Zusammenhanges getragen werden. Aber ich habe anderwärts hierüber genug gesagt*) und es ist hier nicht der Ort, mehr darüber zu sagen.

Mag die monadologische Ansicht hier den Vortheil der einfacheren, wenn auch nicht zulänglicheren, Antwort auf eine schwere Frage behalten, so fällt ihr dagegen um so schwerer die Antwort auf eine andere schwere Frage. Wenn jeder Geist in

*) Zend-Avesta, 3. Theil.

einem Puncte sitzt, sitzt auch der göttliche in einem Puncte? und sitzt aller Geist in Puncten, was bindet die Welt, den Zusammenhang der Puncte? Die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze der endlichen Geister braucht sich selbst nur consequent zu bleiben, um zur Ansicht eines allgegenwärtigen bewussten Gottes zu werden, und in ihm das Band aller Dinge zu sehen. Die monadologische Ansicht kann es nicht wagen, ohne ein fabelhaftes Ansehen zu gewinnen, Gott an einen Punct unter anderen Puncten zu knüpfen, und so kehrt ihr nur die gesteigerte Aufgabe an den Scharfsinn wieder, die Ansicht dieses fabelhaften Aussehens zu entkleiden, Gott dennoch oder irgendwie ein Substitut für Gott zu finden und sich leidlich dadurch mit dem religiösen Glauben abzufinden, oder die ganze Frage in's Dunkel und in den Hintergrund zu schieben.

Die monadologischen Vorstellungsweisen von Leibnitz und Herbart will ich hier nicht reproduciren; ersterer hat sein Band der Dinge und der Wesen in der prästabilirten Harmonie; letzterer hat kein eigentliches Band der Dinge.

Lotze sucht das Bedürfniss eines allgemeinen Bandes der Dinge (Mikr. I. 413 ff. II. 45 ff.) durch die Ansicht einer »unendlichen Substanz« oder eines »substanziellen Unendlichen« zu erfüllen, in dessen Wesen alle Gesetze, aller Causalzusammenhang der Dinge mit diesen selbst begriffen sind, und welches in den einzelnen Erscheinungen und Dingen seinem Wesen nach überall voll gegenwärtig sei; aber doch dieses Wesen in keinem voll kund gebe. »Was (p. 418) jedes einzelne Element leistet, das vermag es nicht, sofern es dieses Einzelne ist, sondern nur, sofern es diess Einzelne als Erscheinung dieses Allgemeinen ist.« Man kann versucht sein, diese unendliche Substanz für Gott zu halten, und, wenn ich nicht irre, muss sie oder die Idee des Guten, welche für Lotze das letzte Princip ihres Wirkens und Webens ist, Gottes Stelle vertreten; obwohl es eine empfindliche Lücke bleibt, die doch vielleicht im letzten erst noch zu erwartenden Theile seines Werkes ausgefüllt werden wird, dass er sich nie klar darüber ausspricht. Wenn er mancher Orten (I. p. 424. 432. 435) der unendlichen Substanz Willen, Absichten beizulegen scheint, solche sich selbst Gesetze geben lässt, so findet man anderwärts (Mikr. I. 418) das Wesen der unendlichen Substanz ausdrücklich nur mit dem Wesen der Seele verglichen, doch nicht identificirt; auch könnte diess ohne Abbruch der Consequenz nicht wohl geschehen. Nun scheint mir aber, wenn ich einmal so vielfach genöthigt bin, das Wesen der unendlichen Substanz als Bandes aller Puncte mit dem bewussten Seelenwesen zu vergleichen, die Consequenz zu fodern, dass man umgekehrt die Natur des Seelenwesens jenem Vergleiche mit der unendlichen Substanz gemäss vorstelle, d. h. sie nicht an einen Punct binde, sondern als Band der Puncte fasse, und dann natürlich umgekehrt das Band der

Dinge nicht als bewusstlose Substanz mit dem Wesen des bewussten Geistes blos zu vergleichen, sondern wirklich demselben gemäss vorzustellen. So scheint mir auch hier die Ansicht nothgedrungen halb auf den Weg einzugehen, den sie nur ganz zu gehen hätte, um sich consequent zu bleiben, hiemit aber freilich aufzuheben.

Gesetzt nach Allem, der Scharfsinn feierte den Triumph der Ueberwindung aller Schwierigkeiten, welche der Ansicht vom einfachen Seelensitze Seitens der Erfahrung entgegenstehen, die Kunst der Darstellung vermöchte die ganze Schwierigkeit zu beschwichtigen oder zu verhehlen, die sich einer befriedigenden oder nur möglichen Fassung göttlichen allgegenwärtigen bewussten Daseins bei dieser Ansicht entgegensetzt, was aber wäre für die Psychophysik damit gewonnen? nur die Ueberwindung eines Berges von Schwierigkeiten, um in eine für sie dunkle Sackgasse zu gelangen und beim nächsten Schritte an die Wand zu stossen; indess die Ansicht vom ausgedehnten Sitze der endlichen Geister, mit der Ansicht vom ausgedehntesten Sitze des unendlichen Geistes in Rückhalt, in ein offenes und fruchtbares Feld erfahrungsmässiger Untersuchung tritt, wo der Scharfsinn auch Aufgaben findet, aber Aufgaben, deren Lösung wirklich vorwärts führt.

In der That kann auf den ganzen Gang, den wir im Folgenden gehen werden, Seitens der Ansicht vom einfachen Seelensitze von vorn herein gar nicht einmal eingegangen werden; vielmehr nur einfach gesagt werden: hier ist nicht mehr zu gehen. Aber wenn wir doch wirklich an der Hand unserer Ansicht gehen, mit Erfolg und Aussicht weiterer Erfolge gehen können, warum sollten wir nicht gehen?

Demgemäss wird dem Folgenden die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze zu Grunde gelegt werden.

Man kann es vielleicht befremdend finden, dass ich in voriger Auseinandersetzung vielmehr auf Lotze, als auf Herbart Bezug genommen. Herbart's Ansicht ist mir nicht so fremd, dass es nicht eingänglicher hätte geschehen können*); aber ich hielt es nicht am Platze. Denn Herbart's einfache Wesen sind hyperphysische oder hinterphysische, sein intelligibler Raum ist es nicht minder, das Verhältniss desselben zu dem wirklichen Raume hat er selbst für seine erklärtesten Anhänger nicht zu einer in sich

*) Das wesentlichste hieher Gehörige findet sich in s. Lehrb. d. Psychol., sämmtl. Werke. Th. V. 114 und Th. VI. 390 f.

widerspruchslosen Klarheit zu erheben vermocht, wonach die ganze Frage nach dem Orte der Seele einen unklaren Hintergrund behält; auf die anatomischen und physiologischen Schwierigkeiten der Frage geht er nicht ein, und ein Streit mit seiner Metaphysik ist natürlich keine Sache dieser Schrift. Hiegegen bietet Lotze's Ansicht und Darstellungsweise seiner Ansicht von vorn herein klare und bestimmte gegensätzliche Gesichtspuncte gegen die Gesichtspuncte dieser Schrift, welche direct in das Erfahrungsgebiet eingreifen, und ohne Verweisung auf eine erst zu studirende Metaphysik, wie sie von Herbart an die Physiologen gerichtet wird (Werke V. 114), eine Auseinandersetzung mit ihm gestatten. Uebrigens hat die Lotze'sche Ansicht, abgesehen von der bestimmten physischen Hypostasirung der Seelen und dem Bande durch das substantiell Unendliche, was freilich wichtige und nach anderer Seite hin folgenreiche Unterschiede sind, bezüglich des Verhältnisses der Seele zum Körper alle wesentlichen Züge mit der Herbart'schen Ansicht völlig gemein, und das Meiste, was gegen Lotze's Auffassung geltend gemacht ist, würde sich nicht minder gegen Herbart's geltend machen lassen.

d) Frage nach der Erstreckung des ausgedehnten Seelensitzes.

Nach Feststellung, dass der Seelensitz im engeren Sinne nicht als ein einfacher anzusehen sei, tritt die zweite Hauptfrage auf, wie weit sich seine Ausdehnung erstrecke, ob blos auf das Gehirn und wie weit im Gehirne?

Ein grosses Material von Thatsachen liegt vor, was mit dieser Frage in Beziehung gesetzt werden kann, namentlich in den Versuchen an geköpften Thieren. Ich halte es jedoch für bedenklich, auf eine ausführlichere Zusammenstellung und Discussion dieses Materiales hier einzugehen, um zuletzt mit dem Geständnisse zu schliessen, dass bisher kaum etwas mehr mit Sicherheit daraus hervorgeht, als dass nach Massgabe als die Organisations- und Seelenstufe der Thiere sich vereinfacht, die verhältnissmässige Ausdehnung des engeren Seelensitzes wächst, und dass nicht das ganze Nervensystem, respectiv Gehirn gleich bedeutungsvoll für die Seelenfunctionen ist, ohne dass sich bisher irgendwie scharfe Gränzbestimmungen ziehen lassen. Nach hinreichend bekannten

Erfahrungen*) dürften Wenige geneigt sein, enthaupteten Insecten Empfindung abzusprechen; und bei Thieren, wo kein Gehirn vorhanden ist, kann selbstverständlich auch die Empfindung nicht daran geknüpft werden. Die Hauptfrage aber, die noch dem Streite unterliegt, dreht sich um die Wirbelthiere, und in dieser Beziehung halte ich es am räthlichsten, die Discussion der Thatsachen und den Streit um ihre Auslegung vorerst noch denen zu überlassen, die diese Thatsachen herbeischaffen, d. i. den Physiologen, bis sie sich entweder mehr geeignet zeigen, der Psychophysik Aufklärung zu gewähren, oder die Psychophysik mehr geeignet sein wird, solche zu leisten. Nur einige allgemeine, wenn auch nicht neue, kritische Gesichtspuncte mögen hier Platz finden.

Die Deutung aller Zeichen, welche für das Dasein von Empfindung und Willkühr in enthaupteten Thieren zu sprechen scheinen, erfodert grosse Vorsicht, und behält stets eine gewisse Unsicherheit, in Betracht der Möglichkeit, dieselben auch als Folgen einer organischen Einrichtung oder eines Mechanismus anzusehen, der, so lange das Gehirn da ist, mit dessen Empfindung und Willkühr in Beziehung tritt, aber nach Wegfall des Gehirnes sein Spiel in Folge äusserer oder innerer Anregungen auch noch ohne Empfindung und Willkühr in ähnlicher Weise vollzieht.

Weder vermag eine scheinbare Freiwilligkeit der Bewegungen, noch die Zweckmässigkeit und zweckmässige Abänderung derselben nach Massgabe der Verschiedenheit einwirkender Reize, worauf man hauptsächlich sein Augenmerk gerichtet hat, sichere Zeichen von Empfindung und Willkühr zu gewähren; denn, wenn scheinbar freiwillige Bewegungen in geköpften Thieren ohne Einwirkung äusserer Reize entstehen, so ist, abgesehen davon, dass öfters der Reiz der Luft auf den verwundeten Theil solche erzeugen kann, auch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die in Folge eines organischen Lebensrestes noch fortgehenden und durch die Verwundung selbst hervorgerufenen inneren unzuberechnenden Veränderungen als innere Reize die betreffenden Bewegungen auslösen, die dann den Bewegungen des ganzen Thieres sehr ähnlich sein können, weil noch der ganze frühere Bewegungsapparat fortbesteht, ohne dass sie nothwendig mit Empfindung und empfun-

*) Treviranus Biol. V. 439. Desselben Erscheinungen und Gesetze des org. Lebens II. 192. Froriep's Tagesber. 1852. Febr. Nr. 467.

denem Triebe in Beziehung stehen. Die Zweckmässigkeit und zweckmässige Abänderung der Bewegungen nach Umständen aber kann, soweit sie noch vorhanden ist, in der zweckmässigen Einrichtung des Organismus selbst begründet sein, indem schon manche unserer zusammengesetzten Maschinen ihr Spiel von selbst zweckmässig nach Umständen abändern, die zweckmässige Einrichtung der so viel complicirteren Organismen aber in dieser Hinsicht unstreitig viel weiter geht.

Was hienach den Einen als Zeichen von Willkühr oder Empfindung gilt, gilt den Anderen nur als Spiel eines Mechanismus, sei es eines einfachen Reflexmechanismus oder eines noch complicirteren Mechanismus, der im unversehrten Thiere mit dem bewussten Gehirne in Beziehung steht, davon Einfluss erfährt und darauf Einfluss äussert. Fällt das Gehirn weg, so kann das Spiel gemäss den einmal vorhandenen Einrichtungen dazu noch eine Zeit lang fort gehen, oder sich unter dem Einflusse von Reizen, die den Einfluss des Gehirnes ersetzen, erneuen, ohne aber ferner mit Bewusstsein in Beziehung zu stehen. Die Zeichen der Willkühr sind dann nur scheinbar. Der etwaige Schein der Freiheit hängt an der Unberechenbarkeit, wie zufällige äussere und innere Reize in den complicirten Mechanismus eingreifen, der Schein der Absicht, sich gegen Reize zweckmässig zu stellen und zu benehmen, Schädlichkeiten zu beseitigen und zu vermeiden, an der Zweckmässigkeit, mit welcher der Mechanismus für den Angriff gewöhnlicher Reize und die Abwehr gewöhnlicher Schädlichkeiten vorweg eingerichtet ist. Gewöhnung und Uebung im Leben kann selbst viel beitragen, den Mechanismus einzurichten und den nachherigen Schein seines absichtlichen Gebrauches zu vermehren.

Inzwischen kann die Gesetzlichkeit, mit welcher Bewegungen in enthaupteten Thieren erfolgen, und die Zurückführbarkeit derselben auf Reflexphänomene (deren Begriff von Verschiedenen in sehr verschiedener Weite gefasst wird), auch nicht sicher gegen damit associirte Empfindung beweisen, insofern theils eine nachweisliche Gesetzlichkeit und Zurückführbarkeit auf Reflexmechanismus nicht überall besteht, theils kein Hinderniss ist, dass sich Empfindung und psychischer Trieb eben so gesetzlich an Reflexactionen nach der Enthauptung als vor der Enthauptung knüpfen. Allerdings erfolgen nach Unterbrechung der Leitung vom Rückenmarke zum Gehirne durch Schnitte oder pathologische Zerstörun-

gen noch Bewegungen in den vom Rückenmarke mit Nerven versorgten Theilen nach den Gesetzen der Reflexaction, ohne dass das Hauptbewusstsein, was mit dem Gehirne in Beziehung steht, etwas davon empfindet; aber man setzt das zu Beweisende voraus, wenn man annimmt, dass nicht in dem Theile, dessen Continuität mit dem Gehirne unterbrochen ist, noch Empfindung für sich entstehen und sich eben so gut an die Reflexactionen knüpfen könne, als es bei Dasein des Gehirnes der Fall, da zumal die Phänomene der theilbaren Thiere lehren, dass eine psychische Einheit durch Trennung des Organismus, an den sie geknüpft ist, zwei getrennte Einheiten geben kann, deren keine empfindet, was die andere empfindet. Hiemit verlieren die Erfahrungen und Gesichtspuncte, auf welche die Gegner der Empfindung in enthaupteten Thieren sich hauptsächlich stützen, ihre Beweiskraft.

Endlich sind noch zwei Hauptgesichtspuncte als von grosser Wichtigkeit hervorzuheben. Erstens. Wenn selbst erweisbar sein sollte, dass sich an ein vom Gehirne abgetrenntes Rückenmark keine Empfindung und kein psychischer Trieb mehr zu knüpfen vermag, so würde damit doch noch nicht im Geringsten erwiesen sein, dass es, so lange es mit dem Gehirne in Verbindung steht, nicht Antheil an dessen psychischer Function, d. h. an den Bewegungen, welche mit den psychischen Functionen in unmittelbarem Verhältnisse der Wechselbedingtheit stehen, hat, indem sein Zusammenhang mit dem Gehirne nöthig, aber auch hinreichend sein könnte, ihm diesen Antheil zu verleihen. Da wir einmal anerkennen müssen, dass der engere Seelensitz ein ausgedehnter ist, so ist damit jedenfalls auch die principielle Möglichkeit seiner Mitausdehnung auf das Rückenmark gegeben, so lange diess in Verbindung mit dem Hauptsitze dieser Bewegungen ist, ohne dass dasselbe auch für sich fähig zu sein braucht, solche Bewegungen zu erzeugen oder in sich fortzuerhalten.

Auch sogar jeder Theil des Gehirnes, wenn er vom übrigen abgetrennt ist, vermag nichts mehr für die psychische Function zu leisten, indess er im Zusammenhange mit den übrigen dazu beiträgt, und man würde consequenterweise eben so jedem Theile des Gehirnes als dem Rückenmarke den Antheil an den psychischen Functionen absprechen müssen, wenn man Versuche an Stücken, die vom Uebrigen abgetrennt sind, als massgebend für das, was sie im Zusammenhange zu den Functionen des Ganzen

beitragen, halten wollte. Im Principe des organischen Zusammenhanges liegt vielmehr, dass, wie jeder Theil im Zusammenhange des Ganzen zu dessen Functionen beiträgt, so auch durch diesen Zusammenhang in seinen Functionen gestützt und gehalten oder selbst erst dazu befähigt werde. Hienach kann man behaupten, dass Versuche an enthaupteten Thieren, sollten sie auch Andeutungen über das, was ein abgetrenntes Rückenmark zu leisten oder nicht zu leisten im Stande ist, gewähren können, gar keine Beweiskraft haben für das, was es im Zusammenhange mit dem Gehirne zu den psychischen Functionen beiträgt.

Zweitens. Eben so wenig kann der Umstand, dass man die psychischen Functionen des Gehirnes ungestört fortbestehen sieht, wenn eine Unterbrechung zwischen Gehirn und Rückenmark eingetreten ist, wovon mehrfache pathologische Erfahrungen an Menschen und physiologische an Thieren vorliegen, beweisen, dass das Rückenmark an den psychischen Functionen des Gehirnes nicht mit Antheil nehme, so lange es damit in Verbindung ist, indem derselbe Beweisgrund eben so consequenterweise wieder gegen den Mitantheil jedes Theiles des Gehirnes selbst an den psychischen Functionen geltend gemacht werden müsste, da nach früher angeführten Versuchen sogar eine ganze Gehirnhemisphäre entfernt werden kann, ohne dass die psychischen Functionen des rückbleibenden Gehirnes gestört erscheinen. Vielmehr liegt in dem Principe der solidarischen Vertretung, welches im Organismus gültig ist, begründet, dass selbst der Verlust der wesentlichsten Theile für die psychischen Functionen nicht gespürt wird, so lange noch Mittel zu ihrer Vertretung da sind, ohne dass sie desshalb müssig sind, so lange sie da sind.

Hienach scheint mir auch durch die bekannte Thatsache, dass nach Amputation von Gliedmassen noch das Gefühl des Besitzes derselben vorhanden ist, und selbst scheinbar noch Schmerzen in denselben gefühlt werden, keineswegs streng erwiesen, dass nicht, so lange diese Gliedmassen vorhanden sind, die psychophysischen Thätigkeiten, auf welchen jene Gefühle beruhen, sich in den Nerv hinein erstrecken und zu jenen Gefühlen solidarisch beitragen.

Die Frage, ob der engere Seelensitz, anstatt sich auf das ganze Gehirn bei Wirbelthieren zu erstrecken, nicht auf einen besonderen Theil desselben einzuschränken sei, leidet an gleichen Schwierigkeiten, als die Frage, ob er sich nicht mindestens bei manchen

Thieren darüber hinaus erstreckt; so dass eben so wenig bis jetzt eine bestimmte Entscheidung stattgefunden hat. Nur das haben, wie schon Eingangs bemerkt, physiologische Versuche entschieden, dass nicht alle Theile des Gehirnes von gleicher Bedeutung für die Seelenfunctionen sind, indem z. B. nur mit Entfernung des grossen, aber nicht des kleinen Gehirnes die Seelenthätigkeiten überhaupt leiden*), indess das Vermögen bestimmter Sinnesempfindungen an die Integrität der Centraltheile geknüpft ist, in welche die Sinnesnerven einmünden. Die Weise, wie Gall die Anknüpfung der Seelenthätigkeiten an bestimmte Hirntheile dargestellt hat, kann weder durch Erfahrung noch aprioristische Betrachtungen als hinreichend begründet angesehen werden.

e) Resumé und Schluss.

Das Vorige zusammengefasst, kann man durch erfahrungsmässige Thatsachen und Gesichtspuncte als wohl begründet ansehen:

1) Dass die Erhaltung der Seele im diesseitigen Leben nicht auf der Erhaltung eines besonderen Punctes oder kleinsten Körpertheiles, sondern auf dem solidarischen Zusammenwirken aller Theile und Thätigkeiten des Körpers in wechselseitiger Ergänzung und mit der bis zu gewissen Gränzen reichenden Möglichkeit wechselseitiger Vertretung beruhe, dass demnach der hierauf bezogene weitere Sitz der Seele im ganzen Körper zu suchen sei.

2) Dass die körperlichen Thätigkeiten, von welchen Empfindung und bewusste psychische Thätigkeiten überhaupt abhängen, nicht erst durch Anstoss an einen bestimmten Punct des Körpers solche erwecken, sondern während ihres Vorganges in einer bestimmten Ausdehnung solche mitführen, dass demnach der hierauf bezogene engere Seelensitz in einer gewissen Ausdehnung im Körper zu suchen sei.

3) Dass nach Massgabe als die Organisations- und Seelenstufe einfacher ist, die verhältnissmässige Ausdehnung des engeren Seelensitzes wächst.

---

*) Vergl. über die Bezugslosigkeit des kleinen Gehirnes zu den bewussten Seelenthätigkeiten insbesondere die neuen Untersuchungen von Wagner in den götting. gel. Anz. 1860. Nachr. Nr. 4.

4) Dass nicht alle Theile des Gehirnes gleiche Bedeutung für die Seelenfunctionen haben.

Hingegen ist über die Fragen, ob er in Geschöpfen, die ein Gehirn haben, den Wirbelthieren namentlich, allein darin zu suchen sei, ob und wie weit er sich etwa über das Gehirn hinaus und im Gehirne selbst erstrecke, nichts entschieden, indem jedem daher entnommenen Grunde und jeder Schwierigkeit nach einer Seite Gegengründe und Ablehnungen der Schwierigkeit von der Gegenseite entgegengesetzt werden können. Noch weniger ist philosophischerseits eine Entscheidung in dieser Hinsicht gegeben, so dass schliesslich die Ansicht darüber Glaubenssache eines Jeden bleibt, die nach dem Zusammenhange seiner übrigen Ansichten zu stellen ist.

Nach dem Zusammenhange unserer eigenen Ansichten und mit Rücksicht auf die Erörterungen der folgenden Kapitel erscheint uns selbst Folgendes als das Wahrscheinlichste.

Der Ort der körperlichen Thätigkeiten, mit denen bewusste Seelenthätigkeiten in functioneller Abhängigkeit verknüpft sind, oder kurz der engere Seelensitz ist nicht nur durch die Reihe der verschiedenen Geschöpfe, sondern auch in demselben Geschöpfe kein fest umschriebener, indem, je nachdem diese oder jene Sphäre der Sinnesthätigkeit oder auch höheren geistigen Thätigkeit in Anspruch genommen ist, der Hauptherd der Bewegungen, welche dem Bewusstsein unterliegen, kurz psychophysischen Thätigkeit oberhalb der Schwelle, seine Stelle und Ausdehnung wechselt. Zu jeder Zeit wird es eine Stelle im Nervensysteme, wo ein solches vorhanden ist, respectiv Gehirn, geben, wo diese Thätigkeit am stärksten ist, und hier kann man den jeweiligen Hauptsitz der Seele oder Seelensitz im engsten Sinne suchen. Von diesem Puncte aus werden die Bewegungen mit abnehmender Stärke durch den ganzen Tract nervöser Fasern im Gehirne, Rückenmarke, Nerven gehen, der damit in Verbindung steht, und in soweit sie über einen gewissen Grad der Stärke, die Schwelle reichen, auch beitragen, das Bewusstsein über die Schwelle zu heben; was nach Umständen bis zu verschiedener Weite sein mag. Ob nun Rückenmark und Nerv auch nach Abtrennung vom Gehirne noch psychische Functionen vermitteln können, wird darauf ankommen, ob sie nachher noch psychophysische Bewegungen von hinreichender Stärke, um die Schwelle zu übersteigen, erzeugen können, was

ebenfalls nach Umständen verschieden sein mag, und nach den bisherigen Versuchen nicht sicher entscheidbar ist.

XXXVIII. Uebertragung des Weber'schen Gesetzes und der Thatsache der Schwelle in die innere Psychophysik.

Indem ich mit vorigem Kapitel der Besprechung allgemeiner Vorfragen genug gethan zu haben glaube, wende ich mich zu dem, was ich nach dem hier eingeschlagenen Gange als den eigentlichen Eingang in die innere Psychophysik von dem im 36. Kapitel bezeichneten Puncte aus betrachte.

Die gesetzliche Beziehung zwischen Reiz und Empfindung setzt besprochenermassen eine solche zwischen Reiz und psychophysischer Thätigkeit einerseits, zwischen psychophysischer Thätigkeit und Empfindung anderseits voraus.

Insofern es nun bei Feststellung derselben gilt, von Grössenbeziehungen der psychophysischen Thätigkeit zu sprechen, werden wir, um die innere Psychophysik im Zusammenhange mit der äusseren und mit der exacten Bewegungslehre zu erhalten, die psychophysische Thätigkeit mit demselben Massstabe gemessen zu denken haben, mit dem wir die körperliche Thätigkeit, von der sie von Aussen angeregt wird, oder den Reiz, sofern er als Thätigkeit fassbar ist, messen, d. i. durch die lebendige Kraft, worin noch gar nicht eingeschlossen liegt, dass sie so gemessen der lebendigen Kraft des Reizes proportional zu- und abnehme, was vielmehr erst zu untersuchen ist, ob und wiefern es der Fall ist. In der That hindert allgemein gesprochen nichts, dass zwei Grössen mit derselben Elle gemessen werden, und doch weder gleich gross sind, noch einander proportional wachsen und abnehmen, wenn sie schon eine Function von einander sind. Die Anwendung derselben Elle hat blos den formellen Vortheil, sich leichter und ohne Reduction über die factischen Verhältnisse beider verstehen zu können.

Die Hauptfrage, um die es sich zunächst zu handeln hat, ist nun folgende:

Ist das Weber'sche Gesetz, nach welchem die Empfindungszuwüchse constant sind, wenn die relativen Reizzuwüchse constant sind, und die Thatsache der Schwelle, wonach die Empfindung erst bei einem gewissen endlichen Reizwerthe einen merk-

lichen Werth erlangt, für die innere Psychophysik in eine Beziehung zwischen der Empfindung zur psychophysischen Thätigkeit zu übersetzen der Art, dass man den Reiz und seinen Zuwachs durch proportionale Werthe psychophysischer Thätigkeit vertreten denkt, oder nicht vielmehr in eine Beziehung zwischen der psychophysischen Thätigkeit zum Reize der Art, dass man die Empfindung und ihren Zuwachs durch proportionale Werthe psychophysischer Thätigkeit vertreten denkt. Mit anderen Worten: hängt die Empfindung von der psychophysischen Thätigkeit oder hängt die psychophysische Thätigkeit vom Reize im Sinne der Fundamentalformel und Massformel ab, wonach erstenfalls die absoluten Zuwüchse der psychophysischen Thätigkeit denen des Reizes, zweitenfalls die der Empfindung denen der psychophysischen Thätigkeit proportional gehen müssten.

Schon ein sehr allgemeiner Gesichtspunct ist hinreichend, die Entscheidung zu Gunsten der ersten Annahme fällen zu lassen. Nach der wesentlichen Verschiedenheit zwischen physischem und psychischem Gebiete ist eine Abhängigkeit zwischen psychischer und physischer Thätigkeit im Sinne der Fundamentalformel und Massformel sehr wohl denkbar, wogegen eine solche Abhängigkeit zwischen zwei körperlichen Thätigkeiten, wie sie einerseits durch die Reizwirkung, anderseits durch die psychophysische Thätigkeit repräsentirt wird, im Sinne der physikalischen und physiologischen Gesetze nicht denkbar ist.

Auf der anderen Seite ist es die einfachste und natürlichste Voraussetzung, die wir im Sinne dieser Gesetze stellen können, dass die Zuwüchse der im Seh- und Hörnerven durch den Licht- und Schallreiz angeregten Thätigkeiten den Zuwüchsen des Reizes proportional gehen, so lange das Organ nicht leidet. Weiter aber ist die Proportionalität nicht in Anspruch zu nehmen, weil das Weber'sche Gesetz nicht weiter gilt.

Freilich ist diese Voraussetzung keine ganz nothwendige, denn der Reiz löst die organischen Thätigkeiten nicht nach dem Principe des Stosses aus, und wir kennen noch nicht hinreichend die Weise, wie er solche auslöst, um den proportionalen Gang derselben mit den äusseren Anregungen in den Normalgränzen der Sinnesthätigkeit ohne Weiteres behaupten zu können. Wenn aber nur die Wahl zwischen dieser einfachsten und natürlichsten und einer gegentheiligen ganz unwahrscheinlichen Voraussetzung

ist, und wenn sich diese Voraussetzung noch überdiess durch andere Gründe stützen lässt, so kann die Entscheidung nicht zweifelhaft sein.

Dabei haben die Abweichungen von der Proportionalität zwischen den Zuwüchsen des Reizes und der psychophysischen Thätigkeit, welche der Versuch bei Ueberschreitung gewisser Gränzen zeigt, nichts Befremdendes; denn selbst bei einfachen Stosswirkungen treten entsprechende Abweichungen ein, wenn gewisse Gränzen überschritten werden, um so leichter kann es erwartet werden beim Eingriffe des Reizes in die complicirte organische Maschinerie. Die lebendige Kraft einer Saite oder Platte und mithin die physische Schallstärke wird der Fallhöhe eines darauf fallenden Körpers so lange proportional gehen (Th. I. S. 179 f.), als die Elasticitätsgränze nicht überschritten ist; ist diess der Fall, erfährt die Saite oder Platte eine dauernde Dehnung, Zusammendrückung oder Zerreissung durch den darauf fallenden Körper, so erleidet diese Proportionalität einen Abbruch. Die Zuwüchse der physischen Tonstärke hängen immer noch nach derselben Function von den Zuwüchsen der lebendigen Kraft der schwingenden Saite oder Platte ab, nicht mehr aber von denen der Fallhöhe des fallenden Körpers. So wird auch nach Ueberschreitung der Gränzen der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes durch die Stärke eines Reizes die Empfindung unstreitig immer noch in derselben Weise von der psychophysischen lebendigen Kraft der Nerven, nicht mehr aber von der des Reizes, abhängen.

Auch das Parallelgesetz (Th. I. Kap. 12) verträgt sich nur mit der ersten Annahme und kann selbst als eine Folgerung derselben angesehen werden. Nach diesem Gesetze ändert sich die Grösse des empfundenen Unterschiedes zwischen zwei Reizen nicht, wenn die Empfindlichkeit sich für beide gleichmässig abstumpft. Aber sie müsste sich mindern, wenn der empfundene Unterschied vielmehr dem absoluten Unterschiede der psychophysischen Thätigkeit als dem relativen proportional gienge; denn wenn jeder beider Reize vermöge abgestumpfter Empfindlichkeit blos noch eine halb so starke psychophysische Thätigkeit hervorruft, so ist auch der Unterschied derselben auf die Hälfte reducirt.

Sollte übrigens selbst eine logarithmische Abhängigkeit der Stärke der durch Licht- und Schallreiz angeregten Bewegungen von der Stärke des Reizes im Sinne der zweiten Voraussetzung als

möglich erachtet werden, so würde diess nicht genügen, sondern, da die Empfindung der Höhe der Töne nach entsprechendem Gesetze erfolgt, als die der Stärke, so würde man auch die Schwingungszahl der psychophysischen Bewegung in diesem Verhältnisse von der Schwingungszahl des Reizes abhängig denken müssen, was in der That undenkbar ist.

Nach dem Zusammenhange, in welchem die Thatsache der Schwelle mit dem Weber'schen Gesetze durch die Massformel steht, entscheidet sich mit der Frage, wie diess Gesetz in die innere Psychophysik zu übertragen ist, unstreitig zugleich die Frage für jene Thatsache. Doch untersuchen wir noch besonders bezüglich der letzteren die Frage: ob eben so wie der Reiz auch die durch ihn ausgelöste psychophysische Bewegung erst eine gewisse Stärke erreichen muss, ehe sich Empfindung daran zu knüpfen vermag, wonach der Schwellenwerth des Reizes der sein würde, der die psychophysische Bewegung bis zu ihrer Schwelle zu treiben vermag, oder ob der Reiz vielmehr erst eine gewisse Stärke erreichen muss, ehe die psychophysische Bewegung überhaupt beginnt, und mit Beginn der psychophysischen Bewegung auch die Empfindung sofort beginnt.

Die letzte Annahme erschiene unstreitig aus allgemeinem Gesichtspuncte sehr wohl möglich. Wenn ein Pferd einen schweren Wagen auf schlechtem Wege anzieht, so wird es nicht gelingen, ihn in Bewegung zu setzen, bis die Kraftanstrengung eine gewisse Grösse übersteigt, von da an kommt er in Gang. So wie er nun in Gang kommt, führt er auch seine Last mit, und die kleinste Geschwindigkeit des Wagens führt auch von selbst eine entsprechende der Last mit. So, kann man sagen, ist freilich eine gewisse Stärke des Reizes nöthig, die psychophysische Bewegung in Gang zu bringen, nicht aber erst eine gewisse Stärke der psychophysischen Bewegung, um Empfindung mitzuführen; sondern die kleinste derartige Bewegung wird auch eine kleinste Empfindung mitführen.

Aber diese Deutung wird schon dadurch unhaltbar, dass sie nicht auf die Unterschiedsschwelle übertragbar ist, und unstreitig muss dasselbe Erklärungsprincip für beide Schwellen ausreichen. Wenn ich von den Sternen im Tageslichte absolut nichts erkenne, auf einer rasch gedrehten Scheibe mit weissen und schwarzen Sectoren absolut keine Ungleichförmigkeit entdecken kann, so kann ich weder sagen, es sei kein psychophysischer Eindruck

gemacht, noch, es sei kein verschiedener Eindruck gemacht, da grössere spürbare Verschiedenheiten nur durch Summation solcher kleinen nicht spürbaren zu Stande kommen können. Also bleibt nichts übrig, als anzunehmen, dass ein wirklicher Unterschied psychophysischer Eindrücke doch nicht als Unterschied aufgefasst werden kann, unbewusst bleibt, wenn er nicht eine gewisse Grösse übersteigt; ist diess aber von Unterschieden zuzugestehen, so wird es nach dem Zusammenhange der Thatsachen der Reiz- und Unterschiedsschwelle auch für absolute Grössen zuzugestehen sein. Ausserdem will ich an einige ganz einfache Thatsachen erinnern, welche zeigen, dass der Wagen der psychophysischen Thätigkeit allerdings angezogen sein kann, ohne schon Empfindung mitzuführen; oder vielmehr, dass das Beispiel mit dem Wagen auf unseren Fall keine Anwendung findet. Genauer werden sich diese Thatsachen freilich erst erläutern lassen, wenn wir uns später zur specielleren Betrachtung der Aufmerksamkeit wenden.

Früh im Bette pflege ich über Allerlei nachzudenken. Dem Bette gegenüber ist ein schwarzes Ofenrohr an einer hellen Wand. Da der Kopf still liegt, so imprimirt sich, wenn ich nach eingebrochenem Morgenlichte mit offenen Augen liege, der Eindruck des schwarzen Rohres stark im Auge, aber ich denke an ganz Anderes, und dieser Eindruck ist mir völlig unbewusst. Sehr oft aber bin ich, wenn ich dann einmal die Augen schloss, durch ein sehr intensiv weisses Nachbild des Ofenrohres frappirt worden. Der physische Eindruck war also in solcher Form gemacht, dass die Gesichtsempfindung entstehen konnte, aber er war, so lange die Aufmerksamkeit abgelenkt war, unbewusst geblieben, und konnte doch nachmals noch in das Bewusstsein treten.

Aehnliches berichtet Scoresby*). Er nahm oft Theile eines Gegenstandes im Nachbilde wahr, welche ihm beim Betrachten mit offenen Augen gar nicht zum Bewusstsein gekommen waren. Wenn eine Stelle einer in grösseren Lettern ausgeführten Druckschrift ausschliesslich fixirt worden war, so giebt Scoresby an, dass es ihm gelungen sei, auch die angränzenden Zeichen im Nachbilde zu lesen.

Entsprechende Erfahrungen kann man in der Sphäre des Gehöres machen.

---

*) Instit. 1854. 154; hier nach Liebig's u. Kopp's Jahresber. 1854. 185.

Es spricht beispielsweise Jemand mit uns; wir sind aber zerstreut und hören nicht (nicht bewusst), was er gesagt hat. Den Augenblick darauf aber sammeln wir uns, und das, was er gesagt hat, tritt in unser Bewusstsein. Unstreitig mussten also die Bewegungen, an die sich das Hören knüpft, schon vorher entstanden sein, und die Sammlung der Aufmerksamkeit hatte nur den Erfolg, sie über die Schwelle zu heben.

Auf diese Weise kann unter Umständen sogar ein früher geschehener Eindruck erst später zum Bewusstsein kommen, als ein später geschehener, wenn die Aufmerksamkeit erst mehr auf den späteren als den früheren gerichtet war. Hiedurch erklärt sich eine sehr paradoxe Erfahrung, die Dr. Hadekamp in der preuss. Vereinszeitung*) mittheilt: »Es ist mir (berichtet er) beim Aderlassen mit dem Schnepper einigemale vorgekommen, dass das Blut aus der Ader hervorsprang, ehe der Schnepper losging. Das heisst, ich will natürlich nicht behaupten, dass diese zeitliche Umkehrung der beiden hier zur Sprache kommenden Acte wirklich stattgefunden habe; aber ich sah sie; ich spreche von Dem, was das Auge dem Gehirne referirte. Mein Auge berichtete meinem Gehirne: soeben ist der Blutstrom aus der Ader hervorgequollen und einen Augenblick später ist auch die Fliete des Schneppers in die Ader gefahren. Diese paradoxe Erscheinung hat sich mir wenigstens ein halbes Dutzend mal präsentirt. Allemal wurde ich davon überrascht, denn, wenn ich vorher daran dachte, blieb sie stets aus. Ich wüsste sie daher auch nicht willkürlich herzustellen. Der Zeitunterschied zwischen den beiden Acten war natürlich ein unnennbar kleiner, aber er war doch jedesmal gross genug, dass ich die Richtigkeit meiner Beobachtung als unzweifelhaft behaupten kann.... Vor einiger Zeit theilte mir Hr. Dr. Schmeisser mit, dass ihm dieselbe Erscheinung ebenfalls einmal vorgekommen sei. Er sah zuerst den Blutstrom aus der Ader hervorquellen, sah dann den Schnepper losgehen, und dann hörte er dessen Schlag.« Der Verf. bemerkt noch weiterhin: »ich möchte glauben, dass ich in allen Fällen, wo mir die Täuschung begegnete, auf den Blutstrom sehr gespannt war.«

Wahrscheinlich von ähnlicher Natur als vorige Erfahrung ist folgende, welche Hartmann**) bei Gelegenheit von Versuchen machte, die er zur Erörterung der Verhältnisse der sog. Personaldifferenz mittelst eines eigens dazu construirten Apparates anstellte.

Ein künstlicher Stern ging mit gleichförmiger Bewegung längs einer Skale vor einem Faden vorbei; der Weg, den er in 1 Sec. beschrieb, war gerade in 10 Theile getheilt. Wurde nun der Skalentheil abgelesen, wo der Stern bei dem letzten Schlage vor dem Faden war, so musste er beim nächsten Schlage um 10 Skalentheile weiter sein.

»Bei dieser Art zu beobachten, — sagt der Verf. — hatte ich eine eigenthümliche Erscheinung. Wenn ich den Skalenpunct, bei welchem der Stern

*) Hier nach Fechner's Centralbl. 1854. S. 422.

**) Grunert's Arch. f. Mathem. XXXI. S. 17.

beim Secundenschlage sein musste, vorher wusste, so glaubte ich den Lichtpunct doch beim Eintritte des Schlages noch etwa 0,5 Skalentheile (zwischen 0,3 und 0,8 wechselnd) vor dem richtigen Orte zu sehen, wodurch also die Angaben um ca. $0^{0},05$ zu gross ausfallen würden. Bemühte ich mich namentlich, recht scharf zu sehen und recht aufmerksam zu sein, so schien es, als wenn der sich stetig nähernde Stern an jenem Puncte einen Moment still stehe, so dass ich versucht ward, zu meinen, es müsse der Ort, wo der Stern beim Eintritte des Schlages stehe, äusserst scharf bestimmbar sein. Oftmals aber schien der Stern auch wieder ohne Stillstand in stetigem Flusse während des Secundenschlages fortzugehen; er flog dann während des Schlages gleichsam durch den richtigen Punct hindurch und die Angabe wurde richtig. Diess geschahe meist am Ende der Beobachtungsreihe, wenn ich gleichsam schon ermüdet war, oder wenn ich die Beobachtungen etwas nonchalant machte. Dieselbe Erscheinung hatte ich auch bei noch langsamerer und schnellerer Bewegung, z. B. bei einem schwarzen Puncte auf der Papierscheibe, der in der Sec. 8 par. Zoll durchlief. Der anticipirte Raum war auch hier derselbe, circa $\frac{1}{20}$ des in 1 Sec. durchlaufenen Weges.«

»Eine Erklärung dieser Erscheinung möchte ich noch nicht wagen. Es ist so, als widme man einmal den regelmässig erfolgenden Secundenschlägen überwiegende Aufmerksamkeit. Dadurch anticipire man einen solchen vielleicht selbst, wie man einen erwarteten Stoss gleichsam früher fühlt, als er wirklich erfolgt, während man den wandernden Stern, den man weniger beachtet, immer an einem neuen Orte sich zum Bewusstsein zu bringen habe, wobei die Seele, der es schwer halte, zwei heterogene Geschäfte, zu hören und zu sehen, zugleich zu verrichten, gleichsam in der Vorstellung des gesehenen Lichtpunctes nachhinke, bis ein andermal man, die Schläge weniger beachtend, den wandernden Stern mit grösserem Interesse verfolge, und ihn so ohne Stillstand in freiem Zuge durch den Schall hindurchfliegen, ja ihm sogar vorauseilen sehe.«

»Für Lichtblitze hält es weit schwerer, eine ähnliche sichere Beobachtungsmethode einzurichten. Etwas Aehnliches sollte man hier vermuthen, die Secundenschläge als erwartete Phänomene gleichsam voraus, den Blitz aber als eine überraschende Erscheinung nach zu empfinden. Diess habe ich aber, der grösseren Unsicherheit dieser Beobachtungen wegen, direct nicht constatiren können, auch stellte sich indirect bei den Beobachtungen eine daraus folgende Verspätung — zu grosse Angaben der Erscheinungszeiten — nicht bestimmt heraus.«

Zu vorigen directen Gründen stelle ich noch folgenden allgemeinen Gesichtspunct auf. Da die Verhältnisse der psychophysischen Bewegungen unserer unmittelbaren Erfahrbarkeit entzogen sind, müssen wir uns bei der Wahl zwischen verschiedenen möglichen Annahmen an diejenige halten, welche die Thatsachen am einfachsten und vollständigsten im Zusammenhange zu repräsentiren gestattet.

Nun wird sich zeigen lassen, wie die Verhältnisse zwischen bewusstem und unbewusstem Vorstellungsleben, Schlaf und Wachen, allgemeinen und besonderen Bewusstseinsphänomenen, kurz die allgemeinsten Verhältnisse des Seelenlebens eine sehr einfache und befriedigende psychophysische Repräsentation auf Grund der Voraussetzung, dass der Schwellenbegriff auf die psychophysische Bewegung übertragbar sei, zulassen, welche nicht möglich ist, wenn man der gegentheiligen Annahme huldigt.

Nach all' dem halte ich es nicht für eine unsichere Hypothese, sondern für eine Foderung der ganzen thatsächlichen Sachlage, auf welcher wir zu fussen haben, dass vielmehr die Empfindung von der psychophysischen Thätigkeit, als diese vom Reize im Sinne der Fundamentalformel und Massformel abhängt, wonach es nur noch gelten wird, die psychophysische Thätigkeit statt des Reizes β nach einem entsprechenden Masse in diese Formeln einzuführen.

Mit dieser Uebersetzung der Abhängigkeit der Empfindung vom äusseren Reize in eine Abhängigkeit von den Verhältnissen der psychophysischen Bewegung wird unsere Lehre principiell genommen von allen precären Bedingungen und Beschränkungen befreit, denen sie noch im Felde der äusseren Psychophysik unterliegt. Wir haben von vorn herein anerkennen müssen, dass unsere auf das Weber'sche Gesetz gegründeten Formeln sich bei der Beziehung auf den äusseren Reiz nur innerhalb gewisser Versuchsgränzen, nur mit mehr oder weniger grosser Annäherung, nur für eine gleiche äussere Anbringungsweise des Reizes und einen gleichen inneren Zustand der Empfindlichkeit bewähren lassen; dass die Constanten b, v unserer Formeln nicht wahrhaft constant sind, sondern sich nach Aenderung dieser Verhältnisse ändern. Aber es hindert nicht nur nichts anzunehmen, sondern, falls es überhaupt eine wesentliche functionelle Beziehung zwischen Körper und Geist giebt, sind wir genöthigt anzunehmen, dass die Gültigkeit der Gesetze, welche die Grösse und Art der Empfindung mit der Grösse und Art der psychophysischen Bewegung verknüpfen, eine unbedingte und unbeschränkte sei, so gut als die Gültigkeit des in der Natur wesentlich begründeten Gravitationsgesetzes, so dass, wenn und wo auch dieselbe Grösse und Art psychophysischer Bewegung vorhanden ist, immer dieselbe Grösse und Art zugehöriger Empfindung vorhanden ist, und dass alle Abweichungen, die wir von der Gültigkeit des Weber'schen

Gesetzes und der darauf gegründeten Formeln bei Beziehung auf den äusseren Reiz finden, nur darin ruhen, dass derselbe äussere Reiz nicht unter allen Umständen dieselbe Grösse psychophysischer Thätigkeit erzeugt.

Hiemit wird auch erst das Abhängigkeitsverhältniss zwischen β und γ in unseren Formeln ein wahrhaft reciprokes und bindendes. Dann werden wir wirklich eben so gut sagen können: die psychophysische Bewegung β kann nicht vorhanden sein als nach Massgabe wie die bewusste oder unbewusste Empfindung γ vorhanden ist, wie wir sagen können, die Empfindung γ kann nicht vorhanden sein, als nach Massgabe wie die Bewegung mit dem Werthe β vorhanden ist, wogegen, so lange wir beim äusseren Reize stehen bleiben, der äussere Reiz und die erfoderliche Reizbarkeit da sein, und doch keine Empfindung entstehen kann, wenn nicht der Reiz auch unter angemessenen äusseren Verhältnissen einwirkt, umgekehrt innere Empfindungen da sein können, ohne dass äussere Reize dazu da sind.

Hiegegen mag sich allerdings ein Einwand erheben lassen.

Man bezweifelt nicht, dass eine gegebene sinnliche Empfindung nicht ohne eine gegebene körperliche Veränderung zu Stande kommen kann; aber setzt das Zustandekommen dieser körperlichen Veränderung auch umgekehrt die gegebene Empfindung voraus? Können nicht dieselben Bewegungen, welche eine Empfindung braucht, um zu Stande zu kommen, unter anderen Umständen auch vorgehen, ohne dass sie eine Empfindung mitführen, oder unter anderen Umständen auch andere Empfindungen mitführen; so namentlich, je nachdem sie in Organismen oder in der Aussenwelt, oder je nachdem sie in verschiedenen Organismen vorgehen?

Unstreitig, nur dass man dann die anderen Umstände selbst mit zu dem zu rechnen hat, wovon die Empfindung bedingt wird, abhängt, oder nach unserem Ausdrucke Function ist. Da sie überhaupt nicht an einem Puncte hängt und noch gar nichts entschieden ist, an welcherlei Zusammenhang sie hängt, so bleibt auch die Möglichkeit noch frei, dass gegebene Bewegungen in gegebenem Zusammenhange eine Empfindung mitführen, indem sie den Zusammenhang zur vollen Bedingung der Empfindung ergänzen, indess sie in einem anderen keine mitführen, indem sie den Zusammenhang nicht dazu ergänzen.

Auch lässt sich die Sache unter folgendem Gesichtspuncte betrachten: wenn eine Saite, ohne an der Violine befestigt zu sein, in dieselbe Art Schwingungen versetzt werden könnte, als da sie an der Violine befestigt ist, so würde sie auch denselben Ton geben; aber sie kann eben nur an dem Violinenkasten so schwingen und solche Resonanz erzeugen, wie es der Fall ist. Und so würden auch irgend welche Stränge, wenn sie ausserhalb des Organismus solche Bewegungen annehmen und solche Mitbewegungen finden könnten, als die Nerven im Organismus, eben solche Empfindungen geben, (die man in den Weltgeist verlegen könnte, um sie nicht ins Leere zu verlegen, da ja auch die Schwingungen noch in der Welt vorgehen würden), aber sie können es eben nicht; jeder Organismus ist vielmehr eine besondere Art Instrument, der nach den Besonderheiten seiner Einrichtung besondere Arten Bewegung erzeugen kann, die kein anderer erzeugen kann, woran sich auch entsprechende Besonderheiten psychischer Zuständlichkeiten knüpfen.

XXXIX. Allgemeine Bedeutung der Schwelle in der inneren Psychophysik.

Der Gegensatz einer Erhebung über die Schwelle und eines Versinkens unter die Schwelle mit dem Schwellenpuncte dazwischen ist dem Gebiete der Empfindungen nicht eigenthümlich. Das ganze geistige Leben des Menschen wechselt zwischen Schlaf und Wachen, d. i. einem unbewussten und bewussten Zustande, im Wachen können dann wieder einzelne Gebiete und in jedem Gebiete einzelne Phänomene die Schwelle übersteigen oder darunter sinken. Die psychophysische Repräsentation von all' dem muss nothwendig zusammenhängen und auf demselben Principe fussen. Sind wir der psychophysischen Repräsentation von Bewusstsein und Unbewusstsein irgendwo sicher, so nöthigt uns der Zusammenhang der Thatsachen und die Consequenz der Betrachtung von selbst zur Verallgemeinerung und Folgerung. Und ohne noch die psychophysischen Thätigkeiten zu kennen, die unseren Bewusstseinsphänomenen unterliegen, ja selbst ohne die Function derselben zu kennen, die für den Reiz β in unserer Massformel zu substituiren ist, genügt die Verallgemeinerung der Thatsache, dass dieselben psychophysischen Bewegungen oder Veränderungen,

die über einem gewissen Grade der Stärke Bewusstsein mitführen, unter einem gewissen Grade unbewusst werden, für sich allein schon, sehr allgemeine Gesichtspuncte stellen und wichtige Folgerungen ziehen zu lassen. Rufen wir uns kurz das Fundament dieser so wichtigen Verallgemeinerung zurück und bezeichnen vorgreifend den Gang derselben.

Die Wirkungsweise der Reize hat zuerst gedient, auf dem Felde der äusseren Psychophysik die Thatsache zu constatiren, dass das, was die Empfindung von Aussen anregt, einen gewissen Grad der Stärke übersteigen muss, sie bewusst zu machen. Hieran knüpfte sich vermöge Uebersetzung des Reizes in psychophysische Thätigkeit zunächst die Folgerung, dass auch die durch den Reiz ausgelöste und repräsentirte psychophysische Thätigkeit einen gewissen Grad der Stärke übersteigen muss, um bewusst zu werden. Die Erörterungen der folgenden Kapitel über Schlaf und Wachen und über die Aufmerksamkeit werden hinzutreten, zu zeigen, dass das, was für sinnliche und Sonderphänomene gilt, sich auf das Allgemeinbewusstsein und allgemeine Bewusstseinsphänomene übertragen lässt. Hiemit wird das Bedürfniss entstehen, uns über das Verhältniss aufzuklären, in welchem die Schwelle des Allgemeinbewusstseins zu der Schwelle besonderer Bewusstseinsphänomene steht. Die Erörterung der erfahrungsmässigen Verhältnisse zwischen der Wirkung der Aufmerksamkeit und des Reizes im 42. Kapitel wird dienen, das, was sich aus allgemeinem Gesichtspuncte in dieser Hinsicht voraussetzen lässt, durch Zusammenstimmung aller erfahrungsmässigen Verhältnisse dazu zu bewähren, und das Stufenverhältniss, was sich in uns darbietet, wird sich endlich im 45. Kap. auch noch über uns hinaus verfolgen lassen.

Hiemit stellt sich eine fundamentale Bedeutung der Thatsache der Schwelle für die ganze Entwickelung der inneren Psychophysik heraus; diese wäre, ohne Rücksicht auf sie, was ein Organismus ohne Abschnitte, Einschnitte, hiemit ohne Organe und Glieder.

Ueber das Alles hat der Begriff der psychophysischen Schwelle die wichtigste Bedeutung schon dadurch, dass er für den Begriff des Unbewusstseins überhaupt ein festes Fundament giebt. Die Psychologie kann von unbewussten Empfindungen, Vorstellungen, ja von Wirkungen unbewusster Empfindungen, Vorstellungen nicht abstrahiren. Aber wie kann wirken, was nicht ist; oder wodurch

unterscheidet sich eine unbewusste Empfindung, Vorstellung von einer solchen, die wir gar nicht haben? Der Unterschied muss gemacht werden, aber wie ist er klar zu machen? Und wo ist seither eine Klarheit darüber zu finden?

Ich betrachte es in der That als eins der schönsten Ergebnisse unserer Theorie, dass sie diese Klarheit giebt, indem sie die Empfindung, oder was es für ein Bewusstseinszustand sei, mit Etwas, woran sie hängt, nicht auf Grund von bestreitbaren Speculationen, sondern unbestreitbaren Erfahrungen in einer solchen functionellen Beziehung fasst, dass diess Etwas fortbestehen kann, indess sie schweigt. Empfindungen, Vorstellungen haben freilich im Zustande des Unbewusstseins aufgehört, als wirkliche zu existiren, sofern man sie abstract von ihrer Unterlage fasst, aber es geht etwas in uns fort, die psychophysische Thätigkeit, deren Function sie sind, und woran die Möglichkeit des Wiederhervortrittes der Empfindung hängt, nach Massgabe als die Oscillation des Lebens oder besondere innere oder äussere Anlässe die Bewegung wieder über die Schwelle heben; und diese Bewegung kann auch in das Spiel der bewussten psychophysischen Bewegungen, welche zu anderen Bewusstseinsphänomenen gehören, eingreifen und Abänderungen darin hervorrufen, deren Grund für uns im Unbewusstsein bleibt.

XL. Schlaf und Wachen.

Während die psychophysischen Verhältnisse der Empfindung den leichtesten Angriffspunct für die äussere Psychophysik von der Erfahrungsseite her gewährten, scheint mir hingegen das Phänomen von Schlaf und Wachen den geeignetsten Angriffspunct von dieser Seite für die innere darzubieten, einmal, sofern es der Erfahrung noch soweit zugänglich ist, um der Uebertragung der Fundamente der äusseren Psychophysik in die innere, welche im 38. Kapitel auf allgemeine Gesichtspuncte begründet wurde, directe Erfahrungsstützen zuzufügen, zweitens, sofern es das g a n z e Bewusstsein des Menschen, Höheres und Niederes in Eins betrifft, indess die Empfindungen blos ein Specialphänomen, und zwar das von niederster Stufe innerhalb des Allgemeinbewusstseins sind, wodurch wir einerseits die wichtigste Verallgemeinerung, andererseits einen Ansatz zum Fortschritte gewinnen, indem sich hiemit

die psychophysische Betrachtung des Verhältnisses zwischen dem Allgemeinbewusstsein und seinen Sonderphänomenen einleitet.

Verfolgen wir zunächst das Phänomen von seiner psychischen Seite.

Während des Schlafes schweigt das Bewusstsein; mit dem Momente des Erwachens ist es plötzlich da, doch nicht sofort in voller Stärke; nur allmälig ermuntert sich der Mensch*); doch steigt die Helligkeit des Bewusstseins rasch bis zu einem Gipfel an, auf dem sie sich, nach der Weise der Maxima, eine Zeit lang nahe unverändert erhält. Allmälig sinkt sie wieder und der Mensch schläft ein, wie er erwacht war.

Vom Einschlafen an vertieft sich der Schlaf nach einem ähnlichen nur umgekehrten Gange, als erst das Bewusstsein im Aufsteigen über die Schwelle nahm, mehr und mehr, d. h. — und hierin liegt das Thatsächliche für den Ausdruck Vertiefung des Schlafes — es erfodert stärkere und immer stärkere Reize, den Schläfer zu wecken**), bis nach erreichter grösster Tiefe das Bewusstsein sich wieder bis zur Schwelle hebt, um von da an in weiter steigende Werthe überzugehen.

Es ist, um die Oscillation des Psychischen durch ein physisches Bild zu erläutern, eine ähnliche Oscillation, wie die der Sonne, welche vom Horizonte, der Schwelle des Tages, rasch emporsteigt, um Mittag eine Zeit lang nahe dieselbe Höhe behält, dann wieder niedersteigt, zum Horizonte sinkt, tiefer und tiefer unter denselben herabgeht, um nach erreichter grösster Tiefe wieder bis zum Horizonte und darüber emporzusteigen.

---

*) »Anfangs erscheint Alles noch dunkel und verworren, dann deutlicher; aber noch nicht nach seiner wirklichen Bedeutung; man erinnert sich nicht sogleich des Vergangenen und kann das, was gesprochen wird, noch nicht recht fassen.« (Burdach's Physiol. III. S. 455.)

**) Ein Zuhörer von mir (Kohlschütter) sprach die Idee aus, mit dem Th. I. S. 179 beschriebenen Schallpendel Versuche über die Tiefe des Schlafes in den verschiedenen Epochen vom Einschlafen an und unter verschiedenen Umständen anzustellen, indem die Stärke des Schalles, welche nöthig ist, den Schläfer zu wecken, zur Messung der Tiefe des Schlafes dienen kann. Ob diese Idee zur Ausführung kommen und der Versuch nicht an den grossen Schwierigkeiten der Herstellung vergleichbarer Umstände scheitern werde, lasse ich dahingestellt; jedesfalls sieht man hier ein Princip, der ganz negativen Zuständlichkeit der Tiefe des Schlafes doch mit Massen beizukommen.

Zwar mag es sein, dass das Aufsteigen der psychischen Sonne relativ schneller geschieht als das der physischen und vielleicht ist auch (die Zeit als Abscisse gedacht) das Aufsteigen steiler als das Absteigen, denn es scheint, dass der Mensch bald nach dem Erwachen am muntersten ist, und von da die Munterkeit nur ganz allmälig, lange nicht merklich, sinkt; eben so scheint der Schlaf bald nach dem Einschlafen am tiefsten, und von diesem Maximum der Abfall zum Aufwachen sehr allmälig*); indess haben uns diese Particularitäten hier nicht zu kümmern, sondern blos das Aufsteigen und Absteigen der Bewusstseinshelligkeit im Ganzen, für welche das Bild immer etwas Treffendes behält. Uebrigens soll uns das Bild nichts beweisen, sondern nur zur Erläuterung dienen.

Wenn wir nun, wie natürlich und ohne Rücksicht auf irgend ein Bild, die Schwelle des Bewusstseins, wo das Erwachen und Einschlafen erfolgt, mit einem Nullwerthe der psychischen Intensität zu bezeichnen haben, so werden wir eben so natürlicherweise und ohne Rücksicht auf unsere im Gebiete der äusseren Psychophysik schon festgestellte Auffassung das Aufsteigen der Bewusstseinshelligkeit darüber mit positiven Werthen zu bezeichnen haben, die vom Erwachen an erst zunehmen, dann nach dem Einschlafen zu wieder abnehmen, und werden dann auch nicht umhin können, die zunehmende Vertiefung des Schlafes unter die Schwelle eben so mit wachsenden negativen Werthen zu bezeichnen, womit sich unsere frühere Auffassung negativer Bewusstseinswerthe als unbewusster Werthe von der Empfindung auf das Gesammtbewusstsein überträgt, und eine Verallgemeinerung und Verstärkung der früheren Auffassung zugleich erwächst. Folgende Erörterungen können beitragen, diese fundamentale Auffassung für unseren jetzigen Fall zu sichern.

Der Zustand des Schlafes hängt mit dem Zustande des Wachens causal zusammen. Die Seele bedarf selbst des Schlafes, um nachher wachen zu können, und muss hinreichend gewacht haben, um schlafen zu können; ja normalerweise entspricht der Tiefe des Schlafes der nachherige Grad der Munterkeit. Man kann sich den

---

*) Burdach sagt geradezu (Physiol. III. S. 454) »der Schlaf ist in seinem Anfange am tiefsten, in seinem Fortgange sanft und ruhig, gegen sein Ende am leisesten.« Inzwischen ist es sicher leichter, einen Schläfer unmittelbar nach dem Einschlafen, als einige Zeit nachher zu wecken.

Schlaf eine Zeit lang versagen, oder er flieht uns von selbst, wenn der Geist ungewöhnlich angespannt oder aufgeregt ist; dann aber folgt normalerweise ein um so längerer und tieferer Schlaf. Es ist hiemit ganz wie bei einer Welle; die Tiefe des Sinkens und die Höhe des Aufsteigens einer Welle bezüglich zum Niveau entsprechen sich und bedingen sich; man kann nicht vom Sinken unter das Niveau als von Nichts abstrahiren; sondern hat zu angemessener Repräsentation die Verhältnisse des Sinkens unter das Niveau und des Steigens über das Niveau, jenes als Uebergang in negative, dieses als Uebergang in positive Werthe bezüglich zum Nullwerthe der Höhe im Niveau zu fassen. Und so kann man auch vom Schlafe nicht als von einem Nichts für die Seele abstrahiren, die Lebensoscillation der Seele nicht allein auf das Wachen beziehen; sondern das Wachsein der Seele ist die Oscillationshöhe über, der Schlaf die Oscillationstiefe unter der Schwelle des Bewusstseins, und bezeichnen wir die Bewusstseinshöhe mit positiven Werthen, so werden wir eben so nothwendig die Tiefe des Schlafes mit negativen Werthen zu bezeichnen haben.

Wollte man hiegegen die Oscillation der psychischen Intensitäten mit dem wachen Zustande abschliessen, und die Intensität im Schlafzustande überall nur mit Null bezeichnen, so würde das Leben der Seele durch lauter in der Zeit von einander abgesonderte, durch Nullzustände des Bewusstseins getrennte, Oscillationen repräsentirt werden, statt dass bei Repräsentirung des Schlafzustandes durch negative Intensitäten die Oscillation des Lebens der Seele continuirlich zusammenhängend in sich und in continuirlichem Bezuge zu dem Körperleben, an das sie im Wachen geknüpft ist, fortgeht. Unstreitig kann man nur letztere, nicht erstere Vorstellungsweise angemessen finden.

Wenden wir uns nun zur Betrachtung der physischen Seite des Schlafes.

Die lebendige Kraft unseres ganzen Körpers erscheint im Schlafe herabgesetzt*). Puls und Athem gehen langsamer, die Temperatur des Körpers ist erniedrigt, die Ausscheidung des Harnes, der Kohlensäure, der Ausdünstung vermindert, und was die Thätigkeiten des Gehirnes insbesondere anlangt, welche wir als

---

*) Vgl. u. A. hierüber Purkinje in Wagner's Wört. Art. Wachen, Schlaf, S. 426.

Träger bewusster Phänomene anzusehen haben, die psychophysischen Thätigkeiten, so spricht schon das Aufhören dieser Phänomene und aller willkührlichen Bewegungen selbst für die Herabsetzung jener Thätigkeiten, ausserdem ist dadurch, dass das Gehirn im Schlafe einsinkt, was man bei Schädelverwundungen und durch die Schädelfontanellen kleiner Kinder zu beobachten Gelegenheit hat, constatirt, dass weniger Blut als im Wachen zum Gehirne zuströmt, und der langsamere Puls spricht auch für einen langsameren Blutumtrieb im Gehirne. Ueberall aber sehen wir, wenigstens bis zu gewissen Gränzen, mit der Fülle und Lebhaftigkeit des Blutumtriebes in einem Organe dessen Functionen steigen und sinken.

Kurz, die Herabsetzung der körperlichen Thätigkeiten, welche den bewussten Phänomenen unterliegen, kann für zweifellos gelten; aber es könnte sich fragen, ob diese Herabsetzung nicht bis zum wirklichen *Aufhören* geht. Zwar hört sicherlich nicht die ganze Gehirnthätigkeit auf; aber es könnten doch diejenigen Thätigkeiten, welche ihrer Natur nach geeignet sind, dem Bewusstsein zu dienen, die *psychophysischen*, im traumlosen Schlafe möglicherweise ganz aufhören; ja diese Ansicht mochte zeither als die natürlichste erscheinen.

Inzwischen spricht zuvörderst hiegegen das Bedürfniss, für die zunehmende Vertiefung des Schlafes den psychophysischen Zusammenhang mit der Erhöhung des Bewusstseins im Wachen fortzuerhalten. Erlischt die psychophysische Thätigkeit ganz mit dem Momente des Einschlafens, so ist der psychophysische Zusammenhang mit Eintritt des Schlafes unterbrochen, wogegen, wenn die psychophysische Thätigkeit mit dem Einschlafen nur bis zu einer gewissen Gränze, einer Schwelle sinkt, die Vertiefung des Schlafes ihren dem Aufsteigen des Bewusstseins entsprechenden Ausdruck in dem Herabgehen der psychophysischen Thätigkeit unter diese Schwelle findet. Diesem formellen Bedürfnisse kommen Erfahrungen zu Hülfe, welche sich auf das Aufwachen und Einschlafen beziehen. Und wenn sie nicht für sich allein ganz bindend sein sollten, so sind sie es doch in Verbindung mit dem vorigen Gesichtspuncte und mit Rücksicht auf das, was wir schon bei dem Specialphänomen der Empfindung zu statuiren uns gedrungen fanden.

Ein Schlafender kann durch einen localen Reiz erweckt wer-

den, welcher Art er auch sei und durch welchen Sinnesnerven er auch Zugang finde. Rütteln, Stechen, Stossen, Kitzeln, ein Tropfen heisses Siegellack irgendwo auf die Haut, Kälte beim Aufdecken, ein Knall, plötzliches grelles Licht, was durch die Augenlider scheint, selbst ungewohnte Gerüche *) können den Schläfer wecken. Gleichen Erfolg hat der Reiz, welchen die allmälig zunehmende Anhäufung von Koth und Urin während des Schlafes bewirkt. Was ist nun der allgemeine Erfolg solcher Anregungsmittel? Dieser, dass eine Erregung des Nervensystemes entsteht, welche sich zum Gehirne fortpflanzt. Auf die Stelle und die Weise kommt an sich nichts an, soweit sich aus Erfahrungen schliessen lässt, sondern nur auf die Stärke, mit Rücksicht, dass ein starker Unterschied von Reizen selbst einen starken Reiz vertritt, mithin starke Verminderung eines gewohnten Reizes nicht minder aufweckend wirken kann, als ein starker Reiz, und selbst ein schwacher Reiz **) leicht weckend wirken kann, wenn er im Wachen geeignet ist, eine starke Erregung mit sich zu associiren. Sonst ist jeder Reiz wirkungslos, bis er einen gewissen Grad der Stärke übersteigt, und bewirkt unzweifelhaft Erwachen, wenn er solchen übersteigt, so lange der Mensch überhaupt noch fähig ist zu erwachen. Doch wird ein leiser Reiz eine, nur minder starke Wirkung derselben Art hervorbringen, als die ist, an die sich das Erwachen knüpft. Also kommt es nicht sowohl darauf an, dass eine Erregung besonderer Art und besonderen Ortes, sondern hinreichender Stärke irgendwo und irgendwie im Felde der psychophysischen Thätigkeit geschehe, damit das Erwachen erfolge; gerade so wie es zur Erweckung einer besonderen Sinnesempfindung während des Wachens erst einer gewissen Stärke des Reizes bedarf. Ehe aber die erfoderliche Stärke erreicht ist, muss hier wie dort die unterliegende psychophysiche Thätigkeit bis dahin wachsen, und um zu wachsen doch vorhanden sein.

Burdach sagt in gewissem Sinne triftig (Physiol. III. S. 460): »wenn man nicht im Schlafe selbst, sondern erst nach dem Aufwachen hörte und fühlte, so könnte man überhaupt nicht geweckt

---

*) »Wie es denn nicht selten vorkommt, dass Menschen durch den brandigen Geruch einer Feuersbrunst geweckt werden.« (Burdach, Physiol. III. S. 460.)

**) Z. B. das leise Rühren eines Kindes neben der schlafenden Mutter.

werden.« Hörte und fühlte man aber im Schlafe schon eben so, wie im Wachen; so wäre kein Unterschied zwischen der Zeit vor dem Aufwachen und nach dem Aufwachen. Nun kann der Unterschied nur darin liegen, dass bis zum Aufwachen die psychophysische Thätigkeit noch unter der Schwelle bleibt, mit dem Aufwachen über die Schwelle tritt. Dasselbe aber, was durch successives Wachsthum eines Reizes bis zum Hervorbringen des Erwachens erfolgt, muss auch in der freiwilligen Annäherung an das Erwachen erfolgen, so dass man höchstens im Momente der grössten Tiefe des Schlafes ein gänzliches Aufhören der psychophysischen Thätigkeit als möglich, wenn auch durch keinen Umstand als wahrscheinlich gemacht, ansehen kann.

Burdach bemerkt weiter (S. 461): »wenn man beim Anhören eines Gespräches oder einer Rede oder Vorlesung eingeschlummert ist, und man wird geweckt, so weiss man die letzten Worte, welche vor dem Aufwachen gesprochen worden waren, z. B. den letzten Satz, wenn er kurz war; aber ohne Zusammenhang mit dem Früheren.... Noch allgemeiner ist es, dass man weiss, wodurch man geweckt wird, ungeachtet das Weckende nach dem Aufwachen nicht mehr percipirt werden kann.« Diess sind offenbar Thatsachen, welche eine psychophysische Affection während des Schlafes beweisen, die analog mit der sein mag, welche stattfindet, wenn wir eine Rede in der Zerstreuung überhören und uns nachher derselben noch erinnern; wovon S. 433 die Rede war.

Das Phänomen des Einschlafens führt, nur in umgekehrter Richtung, zu demselben Ergebnisse. Es erfolgt um so leichter, je mehr alle locale äussere Reize abgehalten werden, und je weniger überhaupt, sei es durch locale Schmerzen oder besonders gerichtete und gespannte Aufmerksamkeit sich die dem Bewusstsein unterliegende Thätigkeit des Nervensystemes, respectiv Gehirnes, local steigert, je mehr sie sich und je gleichförmiger zugleich sie sich vertheilt. Diess kann nun nicht an sich den Erfolg haben, dass sie irgendwo null wird, wohl aber versteht sich, wie der bei der Annäherung an das Einschlafen sich immer mehr ins Enge ziehende, zuletzt nur noch ganz schwach über die Schwelle erhobene Gipfel der psychophysischen Thätigkeit durch die Ausgleichung mit dem, was schon unter der Schwelle ist, selbst unter die Schwelle sinken und damit Einschlafen erfolgen kann. Hängt das Wachsein nur noch an einer solchen localen Steigerung, so muss die Vertheilung selbstverständlich hinreichen, Einschlafen zu bewirken. In der That brauchen wir bei Schläfrigkeit unsere

Aufmerksamkeit nur eben auf nichts Besonderes mehr zu richten, so schlafen wir wirklich ein. Im vollen Wachen, wo die psychophysische Thätigkeit hoch geht, gelingt diess nicht, wenn schon der Mensch seine Aufmerksamkeit ganz in derselben Weise vertheilt, weil die Ausgleichung des erhobenen Gipfels mit dem Uebrigen die Thätigkeit nicht unter die Schwelle harabzubringen vermag, indess umgekehrt bei sehr tiefem Schlafe selbst starke locale Reize ungenügend werden können, einen Punct über die Schwelle zu heben und damit Erwachen zu bewirken.

Hiemit steht dann auch die erweckende Wirkung der Entziehung gewohnter Reize in Beziehung. Ein starkes Geräusch erweckt uns; aber der Müller erwacht eben so, wenn der Gang der Mühle stockt, der Schläfer in der Kirche, wenn der Prediger zu sprechen, das von der Amme eingesungene Kind, wenn die Amme zu singen aufhört, der bei Nachtlicht zu schlafen Gewöhnte, wenn das Nachtlicht erlischt, der im Wagen Fahrende, wenn der Wagen still steht. Bei ermüdenden Märschen schlafen die Soldaten wohl gar im Gehen und wachen auf, wenn Halt gemacht wird. Nun gehört der Einfluss gewohnter Reize auch während des Wachens dazu, eine derartige gleichförmige Höhe und Vertheilung der psychophysischen Thätigkeit zu unterhalten, dass wir uns keiner Empfindung vor der anderen bewusst werden. Wird irgendwo etwas von diesem Reize entzogen, und vertieft sich hiemit die psychophysische Thätigkeit local, so steigt sie nach einem früher erörterten Gesetze, was unstreitig mit der Erhaltung der Kraft zusammenhängt, von selbst im Uebrigen und kann dadurch über die Schwelle getrieben werden.

Alles diess hängt durch die Vorstellung zusammen und dürfte sich im Zusammenhange nur durch die Vorstellung repräsentiren lassen, dass die psychophysische Thätigkeit, welche unserem Gesammtbewusstsein unterliegt, im Schlafe unter eine Schwelle sinkt, ohne desshalb aufzuhören. Wollte man hingegen die Ansicht festhalten, dass das Erwachen an einen eigenthümlichen Vorgang im Gehirne geknüpft sei, der im Momente des Erwachens erst überhaupt entsteht, so müsste man annehmen, dass die schwachen Reize, die das Erwachen noch nicht bewirken, nicht im Stande seien, ein gewisses Hinderniss zu überwältigen, was sich in irgend einer Form der Entstehung dieser Thätigkeiten entgegensetzt, eine Ansicht, die wir schon früher in Bezug auf Empfindun-

gen am Bilde eines anzuziehenden Wagens erläutert und mit Thatsachen bestritten haben. Vielleicht aber nimmt man hier ein anderes Bild zu Hülfe. Könnte es nicht sein, wie bei einer Dampfmaschine, wo eine gewisse Kraft dazu gehört, ein Ventil zu drehen, um sie in Betrieb zu setzen; bis diese Kraft erreicht ist, steht die Maschine still. Könnte der Reiz, der das Aufwachen bewirkt, nicht dieses Drehen des Ventils vertreten? In der That hat eine solche Auffassung an sich nichts Unmögliches; aber es stehen ihr zwei thatsächliche Puncte entgegen: einmal, dass die Erweckung durch einen Reiz an keine bestimmte Form und Oertlichkeit der Reizung gebunden ist; wie es das Erwecken der Thätigkeit einer Dampfmaschine durch Drehung eines Ventiles ist; in welcher Hinsicht namentlich das Erwecken durch Entziehung irgend eines gewohnten Reizes und das Erwecken selbst durch ganz schwache Reize, die aber fähig sind, sich mit einer starken Anregung der Aufmerksamkeit im Wachen zu associiren, ganz unverständlich sein würde; zweitens, dass mit Steigerung des Reizes über den Punct hinaus, wo er das Erwachen bewirkt, die psychophysische Thätigkeit sich ferner steigert, was eine functionelle Beziehung zwischen beiden direct beweist, die man also auch Anlass hat, bis unter den Punct des Erwachens zu verfolgen, wogegen die Kraft, welche das Ventil einer Dampfmaschine dreht und sie dadurch in Thätigkeit setzt, durch ihre Verstärkung dann nichts weiter zur Verstärkung der Kraft der Maschine beiträgt, also keine functionelle Beziehung zwischen Reiz und psychophysischer Thätigkeit über den Punct des Erwachens hinaus erwarten lassen würde, die doch factisch besteht.

Ziehen wir das bisher Erörterte in Betracht, so können wir die Massformel dadurch allein schon mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf dem Gebiete der inneren Psychophysik für die Totalität des Bewusstseins begründet halten; und nehmen wir die strengere Begründung hinzu, die sie auf dem Gebiete der äusseren für das Specialphänomen der Empfindung gefunden hat, so ergiebt sich dadurch zugleich eine wechselseitige Verstärkung und Verallgemeinerung beider Begründungen.

In der That, Schlaf und Wachen sind nach vorstehenden Erörterungen mit negativen und positiven Werthen auf psychischem Gebiete einzuführen; die Gränze zwischen beiden tritt nicht bei einem Nullwerthe, sondern endlichen Werthe der unterliegenden

körperlichen Thätigkeit ein. Insofern also überhaupt eine Function zwischen Seelenthätigkeit γ und dem Masse der unterliegenden körperlichen Thätigkeit β besteht, muss die Function eine derartige sein, dass diese Verhältnisse dadurch repräsentirt werden. Solcher Functionen lassen sich unstreitig unzählige aufstellen; allein lässt man sich durch die Rücksicht bestimmen, ein fundamentales Verhältniss von grösstmöglicher Einfachheit zu gewinnen, wie es im Sinne der anderweiten Grundgesetze der Existenz ist, so kann man nur bei der Formel $\gamma = k \log \frac{\beta}{b}$ stehen bleiben. Wirklich suchte ich, bevor mir die Erfahrungsdata des Weber'schen Gesetzes zu Gebote standen, in den so gefassten Phänomenen von Schlaf und Wachen eine Hauptunterlage der Formel, die sich, wie ich im historischen Kapitel erzähle, überhaupt zuerst bei mir auf Gesichtspuncte der inneren Psychophysik begründet hat. Aber die strengere Begründung wird allerdings nur durch das Weber'sche Gesetz mit Hinzunahme der Thatsache eines endlichen Schwellenwerthes des Reizes möglich sein.

Man kann fragen, was wir bei unserer Auffassung des Schlafes mit den Träumen anfangen. Unstreitig hat man in ihnen eine Art Wachsein und doch kein eigentliches Wachsein. In gewissem Sinne erscheint das Bewusstsein unter der Schwelle, und in gewissem Sinne ist es doch darüber. Lässt sich eine psychophysische Repräsentation hiefür finden?

Meines Erachtens allerdings, aber um sie zu geben, muss erst das Verhältniss des Allgemeinbewusstseins zu seinen Sonderphänomenen, wozu die Traumvorstellungen wie die wachen Vorstellungen gehören, aus allgemeinem Gesichtspuncte erörtert sein, und so wird erst in einem späteren Kapitel (42) darauf einzugehen sein.

Nicht unerwähnt darf bei Betrachtung des Schlafes die Thatsache bleiben, dass angemessen angebrachter Druck auf das Gehirn sicher Schlaf herbeiführt, und Nachlass dieses Druckes ihn wieder aufhebt. Unstreitig kann der Druck auf das Gehirn nichts Anderes bewirken, als dass er Wege sperrt oder Bedingungen aufhebt, wovon der lebendige Gang der psychophysischen Thätigkeiten abhängt, und es wäre voreilig, zu schliessen, dass das natürliche Einschlafen auch auf Druck beruhe, da vielmehr das Einsinken des Gehirnes beim natürlichen Schlafe hiegegen spricht,

und nicht minder durch Erschütterung des Gehirnes als durch Druck Bewusstlosigkeit entstehen kann. Doch ist dieser künstliche Weg, die psychophysische Thätigkeit herabzudrücken, immerhin bemerkenswerth genug und vielleicht nicht ohne Beziehung dazu, dass hinreichend starker Druck auf einen Nerven auch die Zuleitung eines Empfindungsreizes zum Gehirne und hiemit das Bewusstwerden der Empfindung unterbricht. Es könnte diess darauf deuten, dass der empfindungszuleitende und der empfindungstragende Vorgang nicht wesentlich verschieden sind. Vielleicht aber ist vielmehr die Compression der Gefässe das Wirksame, sofern unstreitig der Blutzufluss und die Blutströmung zur Unterhaltung der psychophysischen Processe wesentlich sind.

Wenn man eine, durch den Trepan oder irgend eine Verletzung des Schädels entblösste, Stelle des Hirnes mit der Hand anhaltend drückt, so tritt der bemerkte Erfolg des Einschlafens ein. Auch an Thieren gelingt nach Haller dieser Versuch, wenn man nur stark und anhaltend genug drückt. Er brachte Hunde dadurch bis zum Schnarchen*). Eben so bewirkte Foderé**) bei Thieren durch einen allmäligen und gleichförmigen Druck auf den mittleren Theil des Gehirnes Betäubung. Denselben Erfolg hat, wie leicht zu erachten, jeder unabsichtliche Druck auf das Gehirn, wie er durch angehäuftes oder ausgetretenes Blut oder Blutwasser oder Eiter oder eingedrückte Stellen des Schädels hervorgebracht wird. Der Grund der Bewusstlosigkeit bei Schlagflüssen liegt in der Regel eben in solchen Umständen. Ein Mann liess sich sehen, dessen Schädel nicht vollkommen verknöchert war, so dass man sein Gehirn drücken und ihn in einen Zustand von Schlagfluss bringen konnte, der ihm jedoch nichts schadete. (W. Philipp in Phil. transact. f. 1833.) Auch bei *Spina bifida* soll Schlaf durch einen Druck mit der Hand auf die Rückengeschwulst entstehen, indem der Druck durch das angesammelte Wasser nach dem Gehirne fortgepflanzt wird. (Darwin's Zoon. I. 410.)

XLI. Partieller Schlaf; Aufmerksamkeit.

Der Schlaf ist in der gewöhnlichen Bedeutung, in welcher er bisher ins Auge gefasst worden, ein Phänomen, welches das Bewusstsein des ganzen Menschen oder anders das ganze Bewusstsein des Menschen trifft, und setzt voraus, dass nirgends die psychophysische Thätigkeit über die Schwelle erhoben sei. Aber wenn

*) Haller, *elem. physiol.* IV. 301.
**) Magendie, Journ. III. p. 195.

die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze triftig ist, so muss es möglich sein, dass die psychophysische Thätigkeit anstatt auf einmal ganz unter die Schwelle zu sinken, jetzt hier, jetzt da darunter sinke, und der Mensch also partiell einschlafen und wachen könne.

Diese einfache Consequenz der Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze findet ihre eben so einfache als directe Bestätigung in der Erfahrung.

Jede Zuwendung der Aufmerksamkeit zu einem Sinne ist als ein Erwachen dieses Sinnes, und jede Abwendung davon als ein Versinken in Schlafzustand zu fassen, aus dem ein Erwecken durch Willkühr oder Reize stattfinden kann, und wohl selten oder niemals ist Alles, was vom Menschen überhaupt wach sein kann, auch wirklich zugleich wach. Wenn ein Mensch in so tiefes Nachdenken versunken ist, dass er nicht sieht und hört, was um ihn vorgeht, so schläft die Sphäre aller äusseren Sinne eben so wie beim wirklichen Schlafe. Ein Sinnesreiz muss dann ganz eben so wie bei diesem erst eine gewisse Stärke übersteigen, ehe er den betreffenden Sinn erweckt, erweckt ihn aber auch eben so sicher, wie den ganzen Menschen, wenn er solche übersteigt. Auch kann sich dieser Schlaf der äusseren Sinne eben so wie der allgemeine Schlaf mehr oder weniger vertiefen, und es giebt Zustände innerer Exstase, wo der Mensch mit offenen Augen und Ohren gegen alle äusseren Reize so gut wie unempfindlich ist.

Umgekehrt schläft bei einem Menschen, der, wie man sagt, ganz Aug' oder Ohr ist, nicht nur jeder andere Sinn, sondern auch die ganze Sphäre der inneren Vorstellungsthätigkeit, deren psychophysischer Schauplatz nach später geltend zu machenden Gründen mit dem der sinnlichen Bilder zwar zusammenhängt, aber nicht zusammenfällt, und die hier zur Sprache kommenden Verhältnisse gehören selbst zu den Gründen, es anzunehmen.

Nicht nur zwischen der äusseren und inneren Sphäre der Bewusstseinsthätigkeit im Ganzen findet dieser Wechsel statt, sondern auch zwischen einzelnen Theilen derselben.

Erwacht der Mensch des Morgens, so erwacht anfangs so zu sagen nur ein Punct des ganzen Menschen, wie von der aufgehenden Sonne zuerst nur ein Punct den Horizont, die Schwelle des Tages, übersteigt. Und schläft der Mensch ein, so ist er grossentheils schon eingeschlafen, ehe er ganz einschläft. Will der Mensch

vor dem Einschlafen seine Aufmerksamkeit noch auf etwas richten, so oscillirt wohl der letzte Punct noch eine Zeit lang abwechselnd über und unter die Schwelle; indem er durch die Aufmerksamkeit momentan darüber gehoben wird, und bei Nachlass derselben darunter sinkt.

»Le sommeil ne s'empare pas brusquement de tout notre être, nos organes s'endorment successivement à des degrés variables: plusieurs veillent encore que d'autres sont déjà endormis, qui s'éveilleront peut-être à leur tour quand les premiers s'endormiront.«... »Presque toujours la vue, c'est le sens, qui s'endort le premier.... Plus tard que la vue, l'ouïe s'endort.... De l'étude précédente sur l'état des sens dans le sommeil, il résulte, que s'ils ne s'endorment pas en même tems ni au même degré, leur reveil ne se fait pas non plus instantanément pour tous.« (Longet, *traité de physiol.* T. I. p. 409 suiv.)

Während des vollen Wachseins selbst ist der Mensch, wie früher (S. 442) schon besprochen, nicht im Stande, willkührlich einzuschlafen, sofern er den zu hoch gehenden Gipfel der psychophysischen Thätigkeit nicht durch Willkühr unter die Schwelle herabzudrücken vermag; als welcher nur die Vertheilung, aber nicht die Erzeugung derselben gehorcht; wohl aber, diesen Gipfel bald da-, bald dorthin zu verlegen, auszubreiten, zu concentriren, und so bald diese, bald jene Sphäre ins Wachen, eine andere in Schlaf zu versetzen, und den Eintritt des allgemeinen Schlafes selbst durch möglichst gleichförmige Vertheilung der psychophysischen Thätigkeit in früher angegebenem Sinne indirect zu födern. So wechselt im Wachen der Gipfel der psychophysischen Thätigkeit die Stelle, und wie er an einer Stelle höher aufsteigt, sinkt die Thätigkeit nach dem früher auseinandergesetzten Principe der Erhaltung der Kraft (Th. I. Kap. 5) anderwärts tiefer unter die Schwelle, und vertieft sich hiemit anderwärts der Schlaf.

Theilt sich die Aufmerksamkeit, so theilt sich die psychophysische Thätigkeit, die ihr unterliegt, es wird mehr ins Bewusstsein genommen, aber das Einzelne nur mit schwächerem Bewusstsein erfasst und bedacht. Wie es scheint aber vermag der Mensch diese Theilung nicht zwischen verschiedenen Sinnesgebieten in der Art vorzunehmen, dass ihre Empfindungen zugleich als unterschiedene ins Bewusstsein treten, sondern es gelingt nur vermöge der abwechselnden Zuwendung von einer zur anderen.

Nach Allem unterscheidet sich der partielle Schlaf vom allgemeinen wesentlich eben nur dadurch, dass er ein partieller ist,

wovon aber einige wichtige Unterschiede abhängen, welche es erklärlich machen, dass doch der gemeinsame Name Schlaf nicht gleichgültig für beide gebraucht wird.

Bei dem allgemeinen Erwachen so wie Einschlafen findet ein zeitlicher Wechsel zwischen dem Zustande des psychophysischen Systemes unter und über der Schwelle überhaupt statt; bei dem partiellen bleibt die Schwelle immer überstiegen; es tritt blos ein räumlicher Wechsel zwischen dem Uebersteigen der Schwelle an einem Orte und Sinken darunter an einem anderen Orte ein. Damit hängt von selbst zusammen, dass das Erwachen aus dem allgemeinen Schlafe ohne Einfluss der Willkühr erfolgt; diese kann, da sie selbst mit schläft, ihr eigenes Erwachen nicht bewirken; wogegen der partielle Schlaf blos aus einer Verlegung des bewussten Zustandes an eine andere Stelle hervorgeht, welche also auch unter dem Einflusse des Bewusstseins erfolgen kann.

Das Erwachen aus dem allgemeinen Schlafe kann durch einen Sinnenreiz jeder Art, das Erwachen einer einzelnen Sinnessphäre nur durch den ihr adäquaten Reiz erfolgen, natürlich, da jenes Erwachen eben nur darin besteht, dass irgend eine von allen den Sphären wach wird, die insbesondere wach sein und durch den adäquaten Sinnesreiz wach werden können.

XLII. Verhältniss zwischen dem Allgemeinbewusstsein und seinen Sonderphänomenen. Das Wellenschema.

Nachdem wir das Verhältniss zwischen Bewusstsein und Unbewusstsein im Empfindungsgebiete eben so wie im Gebiete des Allgemeinbewusstseins insbesondere in Betracht genommen; wird sich jetzt handeln, Beides in Beziehung zu einander zu betrachten.

Knüpfen wir diese Betrachtung an einige thatsächliche Verhältnisse.

Wir sehen einen Gegenstand heller, wenn der Lichtreiz, der von ihm herkommt, stärker ist, aber wir sehen ihn nicht ebenso heller, wenn wir ihn aufmerksamer betrachten. Wir vernehmen einen Ton als einen stärkeren, wenn der Schallreiz stärker ist; aber die verstärkte Aufmerksamkeit lässt uns demselben keine grössere sinnliche Stärke beilegen. Mögen wir aufmerksamer hinsehen, hinhören, die Helligkeit, die Schallstärke scheint uns nicht sinnlich dadurch verstärkt. Wir fühlen allerdings die verstärkte Auf-

merksamkeit als eine verstärkte Thätigkeit unserer Seele, aber wir vermögen auch sehr wohl zu unterscheiden, was Sache der verstärkten Aufmerksamkeit und was Sache der verstärkten Sinnesempfindung ist, und schlagen das, was wir als Verstärkung der ersten fühlen, keineswegs zugleich als eine Verstärkung der letzten an.

Von der anderen Seite ist doch gewiss, dass bei mangelnder Aufmerksamkeit schwache Reize gar nicht gespürt werden, dass eine gewisse Aufmerksamkeit nöthig ist, sie überhaupt merklich werden zu lassen. Wie soll nun Verschärfung der Aufmerksamkeit nichts wirken, sie merklicher werden zu lassen?

Wir haben hier gewissermassen den Gegenfall einer früher bemerkten Paradoxie. Wenn ein Reiz unter der Schwelle ist, wirkt er keine bewusste Empfindung; wir brauchen ihn nur zu verstärken, so wirkt er solche; also entsteht scheinbar durch Verstärkung von Etwas, was nichts wirkt, eine Wirkung. Jetzt sehen wir, dass durch Verstärkung von Etwas, was eine Wirkung erzeugt, keine Verstärkung der Wirkung erfolgt.

Mit Vorigem hängt Folgendes zusammen: wir können inhaltlose schwache Vorstellungen doch mit grosser Intensität haben, denken. Das intensivste Nachdenken operirt mit den verblasstesten Schematen; ja wir können uns angestrengt auf etwas besinnen wollen, was uns gar nicht einfällt. Es muss also die Stärke der Vorstellung und die Stärke, mit der wir sie denken, auffassen, sich in gewissem Sinne unterscheiden lassen; doch besteht die Vorstellung für uns nur nach Massgabe als wir sie denken, auffassen.

Weiter aber: während die einer Sinnessphäre zugewandte Aufmerksamkeit noch so sehr verstärkt werden kann, ohne dass eine Sinnesempfindung erwacht, wenn kein Sinnesreiz da ist, kann hingegen ein Sinnesreiz nicht da sein und nicht verstärkt werden, ohne die Aufmerksamkeit anzuregen, und entweder der Schwelle näher zu bringen oder bei hinreichender Stärke darüber zu heben.

Unstreitig erscheinen diese Verhältnisse von vorn herein sehr schwierig, und wenn es schon auf rein psychologischem Gebiete, wo uns doch die unmittelbare Beobachtung zu Gebote steht, schwer fällt, Klarheit darüber zu erzeugen, könnte es vielleicht unmöglich scheinen, eine geeignete psychophysische Repräsentation dafür zu

finden; anderseits aber ist vielleicht auch die Klarheit auf psychologischem Gebiete nur unter Mitbezugnahme auf eine geeignete psychophysische Repräsentation erst möglich. Jedenfalls dürfte es einer psychophysischen Theorie eben so sehr zu Statten kommen, wenn sie überhaupt auf ihrem Gebiete die Möglichkeit einer in sich zusammenhängenden Lösung dieser Schwierigkeiten aus einfachen Grundvoraussetzungen bietet, als wir von der anderen Seite dadurch zu diesen Voraussetzungen uns genöthigt sehen, wodurch die Theorie an Entwickelung gewinnt.

Das Folgende ist ein erster Versuch einer solchen Theorie.

Wesentlich ist es nur dasselbe Princip, dass die psychophysische Thätigkeit des Menschen im Ganzen eine gewisse Stärke übersteigen muss, damit überhaupt Bewusstsein, Wachen stattfinde, und dass während des Wachens jede besondere, sei es durch einen Reiz zu bewirkende oder spontan entstehende, Bestimmung dieser Thätigkeit, die fähig ist, eine besondere Bestimmung des Bewusstseins zu geben, eine gewisse Stärke übersteigen muss, um wirklich bewusst zu werden, und Beides, wie der Zusammenhang von Beidem, wird durch die schon geltend gemachten Thatsachen bewiesen.

Dieses rein factische und an sich keines Bildes bedürfende Verhältniss können wir doch durch ein Bild oder Schema zugleich erläutern und die Darstellung der sich daran knüpfenden factischen Verhältnisse abkürzen. Denken wir uns die gesammte psychophysische Thätigkeit des Menschen wie eine Welle, und die Grösse dieser Thätigkeit durch die Höhe dieser Welle über einer horizontalen Grundlinie oder Fläche dargestellt, wozu jeder psychophysisch thätige Punct eine Ordinate beiträgt. Insofern es ein räumlich ausgedehntes System ist, was die Thätigkeit äussert, und diese Thätigkeit sich durch die Zeit forterstreckt, können wir das Schema ebensowohl auf das Räumliche für sich, als das Zeitliche für sich, anwenden, Ersteres, indem wir allen im Raume neben einander thätigen Puncten Ordinaten für denselben Zeitpunkt, Letzteres, indem wir einem und demselben im Raume thätigen Puncte Ordinaten für die successiven Zeitpuncte beilegen, und können so ebensowohl den Zusammenhang der Thätigkeiten im Raume für viele Puncte, als die zeitliche Folge derselben für einen Punct durch ein solches Schema darstellen. Um aber die Repräsentation für Raum und Zeit zu verbinden, haben wir immer

nur das Gleichzeitige auf einmal in das Schema zu fassen, die Form und Höhe des Wellenzuges aber sich in der Zeit ändernd zu denken. So wird die ganze Gestaltung und der ganze Gang der Bewusstseinsthätigkeit von der gegenwärtigen und folgends sich entwickelnden Form, dem Steigen und Fallen, dieser Welle, die Intensität des Bewusstseins zu jeder Zeit von der jeweiligen Höhe derselben abhängen, und die Höhe dieser Welle irgendwo und irgendwie eine gewisse Gränze, die wir die Schwelle nennen, übersteigen müssen, damit überhaupt Bewusstsein, Wachen stattfinde.

Diese Welle heisse die Gesammtwelle, Hauptwelle, Totalwelle, und die zugehörige Schwelle die Hauptschwelle.

Nach Erfahrung, in soweit wir nach Gesichts- und Gehörsempfindung schliessen können, lassen sich die Thätigkeiten, an denen unsere besonderen Bewusstseinsphänomene hängen, durch Bewegungen von kurzer Periode (Schwingungen) repräsentiren, welche in eine Bewegung von langer Periode eingreifen, an welcher der Stand und Gang unseres Bewusstseins im Allgemeinen hängt, eine Periode, die normalerweise mit der Tagesperiode zusammenfällt, sofern Schlaf und Wachen sich, abgesehen von Zufälligkeiten, danach richten, und beide periodische Bewegungen sind bis zu gewissen Gränzen einer abgesonderten Betrachtung fähig.

Stellen wir nun die Bewegung von langer Periode durch eine je nach dem allgemeinen Zustande unserer Munterkeit und der Richtung unserer Aufmerksamkeit langsam auf- und abschwankende und den Ort ihres Gipfels wechselnde Welle, wir wollen sie die Unterwelle nennen, für sich dar, so werden die Bewegungen von kurzen Perioden, an welchen unsere besonderen Bewusstseinsphänomene hängen, durch kleinere Wellen auf der Unterwelle dargestellt, wir wollen sie Oberwellen nennen, welche abändernd in die Oberfläche der Unterwelle eingreifen; so dass die, durch die Oberwelle abgeänderte Unterwelle die Totalwelle oder Hauptwelle ist.

Je grösser nun die Stärke der Bewegungen von kurzer Periode (die Amplitude der Oscillationen) ist, desto höhere Berge werden die zu ihrer Repräsentation dienenden Wellen über die Unterwelle erheben, und desto tiefere Thäler in sie eindrücken (je nachdem die Richtung ihrer Bewegung gleich oder entgegengesetzt mit der der

Unterwelle ist), Hebungen und Senkungen, welche ihrerseits eine gewisse Gränze der Grösse, wir nennen sie die Oberschwelle, übersteigen müssen, damit das Sonderphänomen, was sich an sie knüpft, in das Bewusstsein trete.

Mit diesem Schema ist eben nichts Anderes gethan, als graphisch dargestellt, was oben mit Worten gesagt ist, dass die besonderen Bewusstseinsphänomene an besonderen periodischen Bewegungsformen hängen, die als Abänderungen einer allgemeineren periodischen Bewegungsform anzusehen, an welcher der allgemeine Stand und Gang des Bewusstseins hängt, und dass die besonderen Thätigkeiten wie die Gesammtthätigkeit ihre Schwelle haben.

Dabei haben wir uns zu erinnern, dass nicht nur unser Allgemeinbewusstsein in jedem Momente von einem Systeme von Bewegungen getragen wird, sondern dass auch alle Phänomene, die sich als besondere vom Grunde des Allgemeinbewusstseins abheben, wenn schon sie für das Bewusstsein einfach erscheinen, doch nicht an einfachen Bewegungsmomenten einzelner Theile hängen, sondern an dem Zusammenwirken einer Mehrheit von Theilchen und Momenten. (Vgl. Th. II. S. 229 ff.)

Die Mathematik hat einen scharfen Ausdruck für die Zusammensetzung zweier Wellen zu einer resultirenden Hauptwelle, wie wir sie hier durch die Zusammensetzung der Unterwelle und ihrer Oberwelle zu einer Totalwelle repräsentirten, in der Zusammensetzung demgemässer periodischer Glieder mit besonderer Amplitude und Periode. Unser Schema kann als die graphische Darstellung einer solchen Zusammensetzung betrachtet werden, wodurch es der Unbestimmtheit, die sonst nach mehrfacher Beziehung übrig bleiben würde, enthoben wird.

Des Näheren kann jeder Punct des psychophysisch thätigen Systemes für den Moment, wo wir das System betrachten, als in der Bewegung von langer und kurzer Periode zugleich begriffen gedacht werden. Indem wir diese Bewegung für eine bestimmte Richtung verfolgen (was freilich für eine vollständige Betrachtung nicht hinreichen würde), denken wir uns die resultirende Geschwindigkeit in dieser Richtung für jeden Punct durch eine Ordinate vorgestellt, die er zur Totalwelle beiträgt, diese Ordinate aber aus zweien zusammengesetzt, deren eine die Geschwindigkeit der einen, die andere die Geschwindigkeit der anderen Bewegung, hiemit die eine die Ordinate der Unterwelle, die andere die Ordinate der Oberwelle vorstellt. Je nachdem nun beide Geschwindigkeiten in gleicher oder entgegengesetzter Richtung gehen, ist die Ordinate der Oberwelle auf die der Unterwelle auf-

zutragen oder von ihr abzutragen, oder ist die Ordinate der Totalwelle als die Summe oder Differenz der componirenden Ordinaten zu nehmen. Geschieht nun diess für alle Puncte des psychophysischen Systemes in einem gegebenen Momente, so erhalten wir durch die Gipfelreihe der resultirenden Ordinaten die ganze Gestalt der Hauptwelle für diesen Moment bestimmt. In jedem Falle wird durch die Oberwelle die Unterwelle an gewissen Puncten erhöht, wenn schon sie an anderen dadurch erniedrigt wird, so dass, wenn wir die Höhe der Totalwelle nach der Erhebung ihrer höchsten Puncte beurtheilen, was bei der Frage, ob und um wie viel sie überhaupt die Schwelle übersteigt, in Betracht kommt, die Höhe der Totalwelle als die Summe der in gleicher Richtung genommenen Höhen von Unterwelle und Oberwelle betrachtet werden kann.

Wollte man statt der Geschwindigkeit die lebendige Kraft in diese Construction einführen, so würden die Oberwellen blos Wellenberge ohne Thäler auf der Unterwelle bilden; aber das richtige Verhältniss der Componenten zur Hauptwelle würde damit verloren gehen. Bei jeder Welle für sich ist es in Betreff der Repräsentation der allgemeinen Verhältnisse gleichgültig, ob man die Geschwindigkeit oder lebendige Kraft einführt.

Wenn die Amplituden und Perioden der componirenden Bewegungen, deren Zusammensetzung im Schema wir betrachten, für gegebene Verhältnisse als constant anzusehen sind, so hindert doch nichts, sie variabel nach Umständen zu denken. So fällt unter Voraussetzung von Normalverhältnissen die lange Periode unserer psychophysischen Thätigkeit mit der Tagesperiode zusammen, indem sich Wachen und Schlaf danach richten, und die Intensität unseres Allgemeinbewusstseins erhebt sich und sinkt nach einem gewissen Normalgange; aber durch viele Umstände kann die Periode verlängert und verkürzt, die Intensität abnorm gesteigert oder vermindert werden. Auch kann es Umstände geben, welche gemeinsam auf beide Bewegungen oder blos auf die eine influiren. Diese Verhältnisse sind nicht aus dem Schema oder dem mathematischen Ausdrucke, den es repräsentirt, abzuleiten, sondern aus der Erfahrung und den allgemeinen Bewegungsgesetzen, und das Schema selbst danach näher zu bestimmen und auszulegen. Dasselbe kann überhaupt nichts beweisen, sondern nur ganz im Allgemeinen zeigen wollen, wie sich, durch combinirte Bezugnahme auf die Thatsache der beiden Schwellen, zu dem, was psychisch zusammenhängt, auch ein psychophysischer Zusammenhang finden lässt, was viel leichter durch ein in sich zusammenhängendes Schema, als mit abstracten Worten möglich ist, ungeachtet sich Alles, was das Schema sagt, auch in Worten sagen lassen muss.

Um so besser wird unser Schema den Zweck dieser Erläuterung erfüllen, wenn wir es selbst erst noch durch einige Hinweise auf die Wirklichkeit erläutern.

Nicht blos das System der psychophysischen Bewegungen im Menschen, sondern das System der ganzen irdischen Bewegungen unterliegt der Tagesperiode, indem sich die ganze Erde in 24 Stunden einmal um ihre Axe dreht. Unzählige Theile der Erde aber haben ihre besonderen periodischen Bewegungen, so das Meer in seiner Ebbe und Fluth, die Atmosphäre in periodischen Regen und Winden, die Organismen in ihren inneren Kreisläufen. Es hindert aber nichts, trotzdem dass diese Theile auch an der Rotation der Erde Antheil haben, diese allgemeine periodische Bewegung der Erde und die besonderen periodischen Bewegungen ihrer Theile in gewissem Sinne und bis zu gewissen Gränzen besonders aufzufassen, zu behandeln, der Rechnung zu unterwerfen.

Die Rotationsbewegung der Erde repräsentirt hier die Unterwelle, die besonderen periodischen Bewegungen auf der Erde die Oberwellen, das, was aus der Zusammensetzung beider als Wirklichkeit hervorgeht, die Hauptwelle oder Totalwelle. Stellen wir die Geschwindigkeit jedes Punctes der Erde durch eine Ordinate vor, so stellt sich für einen gegebenen Parallelkreis der Erdoberfläche die Unterwelle als eine horizontale gerade Linie dar, sofern alle Theile der Erdoberfläche, abgesehen von den Specialbewegungen derselben, dieselbe Rotationsgeschwindigkeit haben; indem aber die Specialbewegungen auf der Erdoberfläche mit oder gegen die allgemeine Rotationsgeschwindigkeit gehen können, erzeugen sie Wellenberge und Wellenthäler in dieser Linie.

Das Meer bietet uns gewissermassen für sich die Wirklichkeit unseres Schema dar. Da giebt es Wellen, die durch eine allgemeine Ursache wie der Wind erzeugt werden, aber auf denen sich durch speciale Ursachen Kräuselungen, Oberwellen bilden, welche als Störungen einer unabhängig von der specialen Störung bestehenden Form, welche die Unterwelle giebt, angesehen werden können; indess die ganze Welle, wie sie ist, die Hauptwelle oder Totalwelle darstellt.

Obwohl nun solche Beispiele, entnommen von nicht psychophysischen Systemen, nichts an sich für psychophysische Systeme beweisen können, so beweisen sie doch in den allgemeinen Bewegungsgesetzen begründete Möglichkeiten, von denen es uns

nicht mehr befremden kann, sie auch in den psychophysischen Systemen verwirklicht zu finden, und es wird also gestattet sein, unser Schema in diesem Sinne anzuwenden, in soweit die Wirklichkeit demgemässe Verhältnisse zeigt.

Nun stellt unser Schema zuvörderst in allgemeinster Weise die beiden factischen Hauptverhältnisse dar, auf die es begründet war: 1) dass die Form und der Grössenwerth besonderer Bewusstseinsphänomene innerhalb des Bewusstseins an der Form und Grösse besonderer Thätigkeiten hängt, welche in eine allgemeine Thätigkeit eingreifen, und in gewissem Sinne einer gesonderten Auffassung von derselben fähig sind.

2) Dass ebenso zum Erwachen des besonderen Phänomens die Ueberschreitung einer gewissen Grösse Seitens der unterliegenden besonderen Thätigkeit nöthig ist, als zum Erwachen des Bewusstseins überhaupt Seitens der Gesammtthätigkeit.

Mit der Repräsentation dieser allgemeinsten Verhältnisse hängt nun aber die Repräsentation vieler besonderen zusammen, die uns theils in früheren Kapiteln, theils Eingangs des jetzigen beschäftigten.

Ist die Hauptwelle überall unter ihrer Schwelle, so haben wir Schlaf, ist sie irgendwo darüber, so haben wir Wachen; sie ist aber im Wachen nie in allen der Erhebung über die Schwelle fähigen Theilen zugleich über der Schwelle, und der Grad der Erhebung derselben über die Hauptschwelle in irgend welchen besonderen Gebieten bestimmt den Grad der Aufmerksamkeit, der darin thätig ist. Alle Verhältnisse des Wechsels der Aufmerksamkeit, wovon im 41. Kapitel die Rede war, lassen sich als ein Wellenschlag der Hauptwelle fassen.

Die nach ihren höchsten Puncten beurtheilte Höhe der Hauptwelle und hiemit die Höhe der in irgend einem Sondergebiete thätigen Aufmerksamkeit hängt weder allein von der Höhe der Oberwellen noch der Unterwelle darin, sondern gemeinsam von beiden ab, kann aber bald mehr von dieser, bald mehr von jener Seite her bestimmt sein. Wenn ein Knall unsere Aufmerksamkeit plötzlich erregt, so ist es das plötzliche Steigen einer Oberwelle, was die Hauptwelle in die Höhe treibt; die Aufmerksamkeit findet sich hier unwillkührlich von der Sinnesseite her bestimmt; wenn wir angestrengt auf etwas horchen, ohne dass ein Schall da ist, so ist sie ohne Dasein einer Oberwelle im Gebiete des Gehöres nur durch

das Steigen der Unterwelle in die Höhe getrieben; sie ist hier unabhängig von sinnlicher Bestimmung aus inneren Gründen willkührlich gerichtet und gehoben.

Die Aufmerksamkeit ist überhaupt um so mehr unwillkührlich durch die Stärke der besonderen Bewusstseinsphänomene oder unabhängig von solchen, d. i. willkührlich, bestimmt, je nachdem die Erhebung der Totalwelle mehr von einer grossen Erhebung der Oberwellen oder der Unterwelle im betreffenden Gebiete abhängt.

Wenn ein intensives Nachdenken mit verblassten Schematen operirt, so spielen auf einer hohen Unterwelle sehr schwache Oberwellen. Wenn wir ohne Anspannung der willkührlichen Seite unserer Aufmerksamkeit ganz receptiv in einer starken sinnlichen Empfindung aufgehen, so wird eine starke Oberwelle von einer verhältnissmässig niederen Unterwelle getragen. Es können aber auch beide zugleich hoch erhoben oder gesunken sein.

Die Aufmerksamkeit in einem Sinnesgebiete kann steigen, ohne dass die Empfindung an Stärke zunimmt, insofern die Hauptwelle durch die willkührliche Erhebung der Unterwelle allein steigt, wogegen die Empfindung nicht steigen kann, ohne die schon wache Aufmerksamkeit zu steigern oder die nicht wache dem Erwachen näher zu bringen, weil durch Steigerung der Oberwelle die Hauptwelle so gut wächst, als durch Steigerung der Unterwelle.

Wie Oberwellen, welche niedrig genug sind, um ihre eigene Schwelle nicht zu erreichen, doch durch hohen Stand der Unterwelle mit über die Hauptschwelle gehoben sein, d. h. einer darüber erhobenen Hauptwelle angehören können, ohne ihre eigenthümlichen Bewusstseinsphänomene zu geben, so können umgekehrt Oberwellen, welche hoch genug sind, ihre eigene Schwelle zu übersteigen, durch tiefen Stand der Unterwelle unter die Hauptschwelle herabgedrückt sein, d. h. einer darunter erniedrigten Hauptwelle oder einem darunter erniedrigten Theile der Hauptwelle angehören, und werden dann aus diesem entgegengesetzten Grunde ebenfalls nicht ins wache Bewusstsein treten, aber nur noch der Erhebung der Hauptwelle durch hinreichende Steigerung der Unterwelle bedürfen, um hineinzutreten.

Im Falle sie blos einem, unter die Hauptschwelle erniedrigten Theile der Hauptwelle angehören, indess diese anderwärts über

der Schwelle ist, also im Falle des allgemeinen Wachens, haben wir den Fall des wegen Zerstreuung oder abgelenkter Aufmerksamkeit nicht gehörten Wortes, das blos noch der willkührlichen Steigerung der Aufmerksamkeit bedarf, um nachträglich noch gehört zu werden, oder eines Schmerzes, den wir so lange nicht fühlen, als wir die Aufmerksamkeit gewaltsam abzulenken vermögen, ungeachtet seine innere Ursache fortbesteht; oder des Schwarz im geschlossenen Auge oder habituellen Ohrenbrausens, an dem manche Personen leiden, deren wir unter gewöhnlichen Umständen nicht gewahr werden, aber sofort gewahr werden können, wenn wir die Aufmerksamkeit willkührlich darauf richten.

Dabei ist es doch nicht dasselbe, ob etwas vom Sinne Gefasstes nur wegen mangelnder Aufmerksamkeit nicht gefasst wird, oder ob es den Sinn zu schwach, oder gar nicht berührt. Dass es über seiner Schwelle (der Oberschwelle) ist, giebt ihm immer einen positiven Werth im Bewusstsein; aber es tritt, während das Hauptbewusstsein dafür nicht wach, jedoch für Anderes wach ist, als unbewusste Mitbestimmung dessen, wofür das Hauptbewusstsein wach ist, auf, eine Mitbestimmung, die nach Umständen störend oder harmonisch sein kann. So äussert beim in Gedanken gehenden Spaziergänger der Sonnenschein, das Grün, der Vogelgesang eine unbewusste Mitbestimmung; er sieht und hört nichts von alle dem und fühlt sich doch anders, und sein Gedankenlauf wird anders sein, als wenn er im dunkeln Zimmer dächte; — so auf den Horchenden in der Oper der Glanz der Scene, auf den Zuschauer in der Oper die Musik. Jede Anschauung von Dingen, die wir durch das Leben kennen, eines Hauses, einer Person, zieht durch Association eine Menge anderer Vorstellungen mit, die im Unbewussten bleiben, und doch so unbewusst die Bedeutung des Hauses, der Person für uns constituiren, welche ohnedem blos als Farbenfleck für das Auge zählen würden. Sie hängen an Oberwellen, die sich mit der auf dem Gipfel der Hauptwelle durch äussere Ursache erhobenen im Zusammenhange erheben, aber unter der Hauptschwelle bleiben, indess jene über die Hauptschwelle treten.

Vom jetzt betrachteten Falle haben wir den Fall zu unterscheiden, wo die ganze Hauptwelle unter die Schwelle sinkt, unterhalb dieser Schwelle aber doch Oberwellen auf der niedrigen Unterwelle spielen, die ihre eigene Schwelle übersteigen. Diess

ist unstreitig der Fall der Träume, die vermöge des Standes der Totalwelle unter der Schwelle natürlicherweise charakterisirt sind durch den Mangel willkührlicher Richtung der Aufmerksamkeit und hauptsächlich auf einer associationsweisen Hervorrufung durch einander und zufällige äussere Reize beruhen.

Der Traum hat mit unserem wachen Leben in der Aussenwelt eine bedeutungsvolle Aehnlichkeit, welche beiträgt, zu erklären, dass der Traum uns nicht als das Spiel von Vorstellungen, was er doch ist, sondern als äussere Wirklichkeit erscheint. Beim Vorstellungsleben in Abziehung vom Aeusseren während des Wachens ist die Hauptwelle verhältnissmässig stärker durch die Unterwelle als Oberwelle gehoben, beim Leben in der Aussenwelt unter dem Einflusse ihrer, unsere Aufmerksamkeit beschäftigenden, Anregungen ist es umgekehrt, und die Wirklichkeit macht sich um so mehr als solche geltend, je mehr sie die Oberwellen im Verhältnisse zur Unterwelle steigert. Dasselbe aber, was im Wachen durch überwiegendes Steigen der Oberwellen eintritt, tritt im Schlafe durch überwiegendes Sinken der Unterwelle ein.

Auf demselben Umstande möchte beruhen, dass Hallucinationen, Phantasmen auch im vollen Wachen den vollen Charakter der Wirklichkeit annehmen können; es wird dann sein, wenn die Oberwellen, an denen sie hängen, in abnormem Verhältnisse die Unterwelle überwachsen.

Dabei kann man von der Natur der Träume noch eine doppelte Ansicht hegen. Man kann sich denken, dass die Träume, während wir sie Nachts haben, in demselben Sinne unbewusst sind, als ein in der Zerstreuung überhörtes Wort im Wachen, und erst nachträglich beim Erwachen wie dieses in Erinnerung treten, bewusst in der Erinnerung reproducirt werden. Man kann sich aber auch denken, und ich halte diess für wahrscheinlicher, dass wir die Träume schon während der Nacht in ähnlichem Sinne bewusst haben, als wir nach Erinnerung glauben, sie gehabt zu haben, und dass der Unterschied, den sie in dieser Hinsicht von den unbewussten Mitbestimmungen des Bewusstseins während des Wachens darbieten, eben nur daran hängt, dass nichts Bewusstes da ist, was sie mitbestimmen könnten, sofern Alles unter der Hauptschwelle des Bewusstseins liegt. Doch kann diess noch ein Gegenstand des Zweifels sein. Auf einen anderen, die Träume

betreffenden, Punct, der ebenfalls bis jetzt nur Sache der Vermuthung ist, komme ich noch im 44. Kapitel.

Im Bisherigen hat sich noch kein besonderer Anlass dargeboten, auf eine gemeinsame oder gegenseitige Abhängigkeit der Unterwelle und Oberwelle von einander Bezug zu nehmen, und factisch besteht bis zu gewissen Gränzen eine Unabhängigkeit derselben von einander; doch nur bis zu gewissen Gränzen, und es gilt auch, diejenigen Verhältnisse in Betracht zu ziehen, welche nur durch ihre gemeinsame oder gegenseitige Abhängigkeit zu erklären sind.

Wenn ein Reiz in ein Sinnesgebiet einwirkt, so steigt die Oberwelle darin, und indem mit dem Steigen der Oberwelle die Hauptwelle steigt, scheint diess schon zu genügen, die für dieses Gebiet stärker in Anspruch genommene Aufmerksamkeit zu erklären. Aber auch wenn der Reiz wegfällt, pflegt die Aufmerksamkeit noch mehr oder weniger in diesem Gebiete zu verharren; der durch einen Knall erweckte Schläfer schläft selten sofort wieder ein, und es scheint nicht, dass diess allein durch eine Nachdauer der durch den Reiz hervorgerufenen und associationsweise etwa mit entstandenen Oberwellen erklärt werden könne; sondern jede Erhebung einer Oberwelle durch einen Reiz ist, so scheint es, zugleich als Reiz für eine Erhebung der Unterwelle zu betrachten.

Von der anderen Seite sehen wir zwar die Lebhaftigkeit von Sinnesempfindungen im Allgemeinen nicht durch verstärkte Aufmerksamkeit wachsen, aber es giebt doch Fälle, wo durch eine sehr anhaltende, intensive und so zu sagen auf einen besonderen Punct zugespitzte willkührliche Richtung der Vorstellung Vorstellungsbilder bis zur Intensität wirklicher sinnlicher Anschauungen gesteigert werden konnten, und hier muss umgekehrt die starke Hebung der Unterwelle mit einer Hebung der Oberwelle in Verbindung stehen; so bei den interessanten Versuchen von H. Meyer, von welchen im 44. Kapitel die Rede sein wird.

Diess sind keine Widersprüche gegen die vorherige Darstellung und gegen die Triftigkeit des Schema; es wird immer im Stande sein, die Verhältnisse der Unabhängigkeit und Abhängigkeit, soweit sie nun eben bestehen, zu repräsentiren.

Noch Manches liesse sich am Schema erläutern, worauf ich aber hier nicht ausführlich eingehen will, da solche Ausführungen

im Grunde nichts fördern, wenn sie keine neuen Gesichtspuncte eröffnen oder nur auf Vermuthungen ruhen. So liegt es nahe, die Bildung von Begriffen aus Einzelvorstellungen oder Anschauungen durch Interferenzen der ihnen unterliegenden Oberwellen zu repräsentiren; so liesse sich denken, dass Lust oder Unlust entsteht, je nachdem die Unterwelle durch Zutritt der Oberwellen im Ganzen gehoben oder deprimirt und in dieser Hinsicht eine gewisse Gränze (Schwelle der Lust und Unlust) überschritten wird, mit Rücksicht, dass die Oberwellen zwar nothwendig an gewissen Puncten die Unterwelle erhöhen, indess sie aber zugleich dieselbe an anderen Theilen eindrücken, was sich unter Umständen compensiren, unter anderen vielleicht nicht compensiren kann. Doch diese für jetzt nur unbestimmte und vielleicht unrichtige Vermuthung bleibe für jetzt dahingestellt.

XLIII. Verhältniss zwischen den sinnlichen und Vorstellungsphänomenen.

Die Verhältnisse von Schlaf und Wachen sammt denen der Aufmerksamkeit sind Verhältnisse, welche das Bewusstsein im Allgemeinen und Ganzen angehen. Hingegen treten die durch äussere Reize ausgelösten Sinnesempfindungen, deren Nachbilder und die Gemeingefühle des Schmerzes, Hungers u. s. w., was wir kurz unter dem Namen der sinnlichen Phänomene vereinigen, mit unseren Erinnerungen, Phantasiebildern und das abstracte Denken begleitenden Schematen, was wir kurz unter dem Namen Vorstellungen vereinigen, endlich den in den Erscheinungen des Sinnengedächtnisses, den Hallucinationen und Illusionen bestehenden Mittelgliedern zwischen beiden Klassen, unter den allgemeinen Begriff von Modificationen, besonderen Bestimmungen des Totalbewusstseins, wonach sich die Stellung dieser Phänomene in der schematischen Darstellung des vorigen Kapitels von selbst ergiebt.

Diese Darstellung bezieht sich auf die psychophysische Unterlage der Bewusstseinsphänomene. Nun aber kann man fragen: sind denn die Sonderphänomene zweiter Klasse überhaupt noch als psychophysisch fundirt, d. h. mit physischen Veränderungen in uns functionell verknüpft anzusehen? Gar manche Philosophen und Psychologen, die es wohl von den Phänomenen erster

Klasse, den sinnlichen Phänomenen, zugeben, wo sich nicht wohl ein Widerspruch erheben lässt, sträuben sich doch, es eben so von den Phänomenen zweiter Klasse, den Vorstellungsphänomenen, zuzugeben, sind vielmehr geneigt, schon die Erinnerungen und Phantasiebilder von der psychophysischen Unterlage loszulösen und als in der Seele vorgehende Acte anzusehen, die zwar von der Sinnesseite her in ihr angeregt worden sind, aber, so wie sie in der Seele vorgehen, keiner speciell dazu bezüglichen körperlichen Thätigkeit mehr wesentlich bedürfen, als deren Function sie ablaufen, wenn schon sie rückwirkend Veränderungen im Körper erzeugen und insofern nicht ohne solche von Statten gehen mögen; und namentlich besteht diese Neigung bei der Ansicht vom einfachen Seelensitze. Denn wenn die Sinnesreize ihren Eindruck dahin abgegeben haben, so liegt es nahe, ihre Aufbewahrung und Verarbeitung dann wesentlich blos noch der Seele anheim zu geben, wogegen die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze die mit der wachsenden geistigen Befähigung wachsende Entwickelung und Verwickelung des Gehirnes selbst nur dadurch erklärlich finden kann, dass es über die blossen Sinnesfunctionen hinaus, worin das Thier dem Menschen keinen Vorzug lässt, noch speciale psychische Leistungen zu vollziehen habe.

Da uns über die inneren Vorgänge überhaupt keine unmittelbare Erfahrung zusteht, so muss die Consequenz dessen, was nach Erfahrung feststeht, uns leiten, und schliesslich folgender allgemeine Gesichtspunct bei dieser und allen damit zusammenhängenden Fragen massgebend sein. Soll nicht überhaupt der Zusammenhang und die Consequenz des psychophysischen Systemes nothlos abgebrochen werden, so werden Verschiedenheiten auf psychischem Gebiete, so lange sie noch in folgerechtem Zusammenhange nach dem Functionsprincipe in psychophysische Verschiedenheiten übersetzbar sind, auch darein zu übersetzen sein, nicht aber dahin auszulegen sein, dass die einen noch psychophysisch fundirt sind, die anderen nicht mehr so fundirt sind. Und es wird sich also nur fragen, ob in den Verhältnissen der Phänomene erster und zweiter Klasse, welche uns die innere Erfahrung bietet, wirklich etwas liegt, was einer solchen Uebersetzung den Weg verlegt, und zu einer Ablösung der letzteren von der Unterlage, an welche die ersteren noch geknüpft sind, nöthigt.

Aber gerade das Verhältniss der Erinnerungen und sinnlichen

Anschauungen bot sich uns von vorn herein (S. 380) als ein vorzugsweise geeignetes Beispiel dar, die Anwendbarkeit des Functionsprincipes in dieser Beziehung zu erläutern, und ich halte es unnöthig, hierüber auf neue oder weitere Ausführungen einzugehen.

Die Misslichkeit einer derartigen Scheidung zwischen den sinnlichen und Vorstellungsphänomenen, dass jene eine psychophysische Begründung haben, diese nicht mehr haben, tritt um so schlagender hervor, wenn wir auf den, in den Thatsachen des folgenden Kapitels sich von selbst herausstellenden, Uebergang achten, der von den sinnlichen Anschauungen durch die Nachdauer der Eindrücke, die Erscheinungen des sogenannten Sinnengedächtnisses, die willkührlich erzeugten Sinnesphantasmen, die Illusionen (wo äussere Gegenstände nur falsch gesehen werden), die Hallucinationen mit oder ohne Reproduction früherer Sinneseindrücke (wozu die Wahnbilder der Verrücktheit mit gehören) zu den wirklichen Erinnerungs- und Phantasiebildern achten.

Was bei der Ansicht, dass die Erinnerungsbilder so gut psychophysisch fundirt sind, als die Anschauungsbilder, am schwierigsten erscheinen kann, ist die Möglichkeit, so zahllose Dinge im Gedächtnisse zu behalten und in Erinnerung zu reproduciren. Aber sie ist nicht wunderbarer, als die doch thatsächlich bestehende physisch begründete Möglichkeit, die Fertigkeiten zu den verschiedensten Handthierungen in derselben Hand zu vereinigen und wechselnd in Ausübung zu bringen. Auch darf man nicht vergessen, dass das Erinnerungsvermögen, so unbeschränkt es in gewissem Sinne ist, so beschränkt von anderer Seite ist. Es unterliegt Gesetzen der Association, welche die Verbindung und Folge der Erinnerungen regeln, und eben so wie verwandte Fertigkeiten der Hand sich unterstützen und disparate stören können, ist es mit den Erinnerungen der Fall.

Sich den psychophysischen Mechanismus oder die organische Einrichtung auszumalen, mittelst deren die Leistungen, welche das Erinnerungsvermögen fodert, wirklich vollziehbar sind, wäre natürlich sehr vorzeitig, so lange wir noch kaum eine Ahnung über das Princip der Nervenwirkung überhaupt, und mithin über die Weise, wie es dabei zu verrechnen wäre, haben. So viel lässt sich nur ganz im Allgemeinen sagen, dass der Mechanismus ein, wenn nicht im Principe, aber in den aufgewandten Mitteln unge-

heuer complicirter und nicht fester, sondern veränderlicher, entwickelungsfähiger sein müsse. Diesen Bedingungen sehen wir entsprochen; und viel mehr ist für jetzt nicht zu verlangen. Doch lässt sich noch Einiges erläuternd zufügen.

Die Nachklänge unserer Anschauungen in den Nachbildern haben nach den Erörterungen Th. II. S. 309 an sich einen gesetzlich periodischen Ablauf, die Erscheinungen des Sinnesgedächtnisses, von denen im folgenden Kapitel die Rede sein wird, führen periodisch, wenn auch in unregelmässigen Perioden, selbst nach längerer Zeit noch Gestalten und Bewegungen ganz unwillkührlich in die Erscheinung zurück, und würden es unstreitig viel mehr thun, wenn nicht theils neue Eindrücke, theils die Zusammensetzung mit den alten den deutlichen Hervortritt einzelner periodischer Erscheinungen in diesem wogenden Meere blos auf die Folgen sehr intensiver, oft wiederholter Eindrücke beschränkte. Es besteht aber doch hienach factisch in uns das Princip einer freiwilligen periodischen inneren Wiederholung nicht nur einzelner Bewegungen, sondern selbst Bewegungsfolgen, welche durch sinnliche Einwirkungen in uns erregt wurden, gleichviel worauf es beruhe, will man anders nicht schon die sinnlichen Phänomene von der physischen Unterlage loslösen; und so ist kein Hinderniss zu glauben, dass diess Princip auch als eine der psychophysischen Grundlagen unseres Erinnerungsvermögens eine grosse Rolle spiele. Ausserdem lässt sich voraussetzen, dass das Princip der ungestörten Coexistenz und Superposition kleiner Schwingungen und die damit zusammenhängenden Principien der Interferenz und ungestörten Durchkreuzung von Wellen bei den sich kreuzenden, sich mit einander zusammensetzenden, sich zeitweise ins Unbewusstsein herabdrückenden und wieder daraus hervortretenden Erinnerungen nicht ausser Spiel sein werden. Wenn wir sehen, wie alle physikalischen Hülfsmittel aufgeboten sind, das Auge und Ohr für die Aufnahme gesonderter Sinneseindrücke zu befähigen, so kann man es zwar bequemer finden, die Aufbewahrung und Wiederholung derselben als ein der Seele ohne alle äusseren Hülfsmittel zukommendes Vermögen anzusehen, aber es auch hiegegen nur consequent finden, wenn man dieselbe an eine noch tiefergehende Verwendung der physikalischen Principien und Hülfsmittel geknüpft hält, womit man nicht sowohl das Geistige herabsetzt, als die Natur heraufhebt, und wobei nichts hindert, das, was sich

jetzt mit immanentem Bewusstsein durch die bewusste Thätigkeit selbst in jedem einzelnen Geschöpfe fortentwickelt, auch in der ersten Schöpfung der gesammten organischen Welt mit solchem geordnet zu denken. Gewiss ist, dass wir der Bequemlichkeit der Betrachtung durch die Anstalten der Natur nicht entsprochen finden. Die Seele ist nicht blos an eine Sammlung von Sinnesorganen, sondern auch an ein Gehirn gebunden, durch das alle Sinnesorgane, und zwar in complicirtester Weise verbunden sind.

Wenn die Erinnerungsbilder, Phantasiebilder und das Denken begleitenden Schemate alle noch psychophysisch fundirt sind, so ist es auch das Denken selbst, indem jeder andere Stoff und Gang des Denkens ein anderes Material und eine andere Verknüpfungsweise der Schemate voraussetzt, ohne die überhaupt kein Denken stattfinden kann, wie eine andere Melodie und Harmonie nicht ohne andere Töne und eine andere Verbindungsweise der Töne sein kann. Nun gewährt ein Klavier in seiner verhältnissmässig geringen Zahl festliegender Tasten doch die Möglichkeit, die allerverschiedensten Melodien und Harmonien auszuführen, und so vielerlei und so hohe Gedanken der Mensch fassen mag, 25 Buchstaben reichen hin, sie auszudrücken; es kommt beidesfalls nur auf die Verbindung und die Folge an, in der die Tasten oder Buchstaben durchlaufen werden. Das Gehirn in seinen zahllosen, in verschiedener Weise thätigen Fibern aber enthält in dieser Hinsicht unvergleichlich reichere Mittel, also kann auch kein Hinderniss sein, ihm mindestens eben so grosse Leistungen innerlich zuzutrauen, als wir äusserlich mittelst desselben ausführen.

XLIV. Beobachtungen und Bemerkungen über das Verhältniss zwischen Nachbildern und Erinnerungsbildern insbesondere. Erinnerungsnachbilder, Phänomene des Sinnengedächtnisses, Hallucinationen, Illusionen, Träume.

Ich stelle im Folgenden einiges Beobachtungsmaterial, theils eigenes, theils fremdes, über die in der Ueberschrift genannten Phänomene zusammen, was für theoretische Ansichten darüber eine nützliche Unterlage bieten kann, ohne jedoch den sehr weitschichtigen und sich weit verzweigenden Gegenstand erschöpfen zu wollen, wozu nicht ein Kapitel, sondern ein Buch gehören würde, und ohne selbst auf mehr als einige sehr allgemeine theo-

retische Ausführungen einzugehen, da sich für jetzt nicht mehr scheint geben zu lassen.

a) Erinnerungsbilder und Nachbilder in Beziehung zu einander.

Die einmal von Aussen gemachten Sinneseindrücke bestehen auch nach Wegfall des äusseren Reizes noch eine gewisse Zeit als Nachbilder, Nachklänge, allgemein als Nachempfindungen fort, die bei gesundem, kräftigen Zustande der Sinne weniger leicht wahrzunehmen, weniger intensiv und nachhaltig zu sein pflegen, als bei schwächlich reizbarem; und hinterlassen das Vermögen, in Erinnerungen oder mehr oder weniger umgestaltet in Phantasiebildern reproducirt zu werden. Beiderlei Nachwirkungen sollen hier hauptsächlich, wenn schon nicht ausschliesslich, im Felde der Gesichtswahrnehmungen betrachtet werden, wo sie am meisten untersucht sind; doch findet das hier Gültige mehr oder weniger auch auf andere Gebiete der Sinnesempfindungen Anwendung.

Die Hauptunterschiede zwischen den Nachbildern einerseits, Erinnerungs- und Phantasiebildern anderseits bestehen darin, dass die ersten stets nur mit einem Gefühle der Receptivität, nur in Continuität mit den gemachten sinnlichen Eindrücken, von Willkühr und Vorstellungsassociation unabhängig, entstehen und bestehen und nach Massgabe der unmittelbar vorhergegangenen sinnlichen Eindrücke auch von Willkühr unabhängig, gesetzlich, ablaufen, indess die Erinnerungs- und Phantasiebilder mit dem Gefühle geringerer oder grösserer Spontaneität noch längere Zeit nach vorausgegangenen sinnlichen Einwirkungen theils unwillkührlich durch Vorstellungsassociation entstehen, theils willkührlich hervorgerufen, wieder verbannt und abgeändert werden können.

Mit diesen charakteristischen Unterschieden stehen andere, jedoch im Allgemeinen weniger entschiedene, bei verschiedenen Personen mehr oder weniger variable und Uebergängen Raum gebende, Verschiedenheiten in Verbindung, worüber sich das Folgende verbreitet.

Um einen Ausgangspunct zu gewinnen, stelle ich die Phänomene zuerst so dar, wie sie sich bei mir finden, der ich gewissermassen am unteren Extreme der Skale stehe, durch welche sich Erinnerungsbilder sinnlichen Phänomenen, wie den Nachbildern,

zu nähern vermögen. Es findet sich aber das, was ich bei mir gefunden habe, und wobei ich nach sorgsamer und oft wiederholter Beobachtung stehen bleiben muss, keineswegs Alles eben so bei Anderen wieder, wie man aus den weiter unten angeführten Fällen ersehen wird.

Erinnerungs- und Phantasiebilder erscheinen mir im Allgemeinen immer wie etwas der Körperlichkeit Ermangelndes, Luftiges, Gehauchtes, dem gleichsam materielleren Eindrucke der Nachbilder gegenüber.

So ist die Zeichnung der Erinnerungs- und Phantasiebilder bei mir ganz ohne Vergleich unbestimmter, verwaschener, als die der Nachbilder. Klare scharfe Umrisse vermag ich gar nicht, auch nur an den geläufigsten Erinnerungsbildern der Gegenstände, die mir täglich vor Augen sind, zu erhalten, indess die Nachbilder mit entsprechender Schärfe als direct gesehene Gegenstände auftreten.

Nachbilder im geschlossenen Auge sind je nach den Helligkeitsverhältnissen der angeschauten Objecte zu dem Grunde, auf dem sie erschienen, entweder tiefer schwarz oder lichter als der umgebende Grund des Auges und als das gleichförmige Schwarz des Sehfeldes. Erinnerungsbilder hingegen machen mir im Allgemeinen einen schwächeren Eindruck als das Schwarz selbst. Von Weiss zu Schwarz giebt es eine Skale continuirlich abgestufter Helligkeit und das tiefste Schwarz ist das reine Augenschwarz. Frage ich mich nun, wohin diese Skale führen würde, wenn ich sie noch unter das Schwarz fortgesetzt dächte, so wird man meines Erachtens auf den undeutlichen Eindruck der Erinnerungs- und Phantasiebilder geführt.

Farben kann ich an den Erinnerungsbildern farbiger Gegenstände mit aller Bemühung nicht oder nur in flüchtigem, zweifelhaftem Scheine bei Erinnerung an sehr frappante Eindrücke reproduciren*); indess ich lebhafte farbige Nachbilder im offenen wie geschlossenen Auge erhalte. Auch träume ich nie in Farben, sondern alle meine Erlebnisse im Traume erscheinen mir wie in einer Art Dämmerung oder Nacht vorgehend.

Ich bin nicht im Stande, selbst das geläufigste Erinnerungs-

---

*) So wenn ich an durchschnittene Eier auf Spinat denke, wo das Weiss, Gelb und Grün sehr scharf gegen einander absticht.

bild auch nur kurze Zeit stetig festzuhalten, sondern muss es, um es länger zu betrachten, gewissermassen immer von Neuem wiedererzeugen; es ändert sich nicht sowohl von selbst, als es verschwindet immer wieder von selbst. Will ich es aber mit gleichgerichteter Intention oft hinter einander wiedererzeugen, so gelingt es bald gar nicht mehr, indem die Aufmerksamkeit oder Productionsthätigkeit sich schnell abstumpft. Diess ist aber keine Abstumpfung der Erinnerungsthätigkeit überhaupt; denn ich bin — und diess scheint mir der Beachtung werth — nicht gehindert, statt dessen sofort ein anderes geläufiges Erinnerungsbild, so deutlich, als es mir überhaupt möglich ist, vorzustellen, und, wenn auch für dieses die Aufmerksamkeit oder Productionsthätigkeit sich erschöpft hat, zum ersten Bilde zurückzukehren, wo ich es wieder mit der anfänglichen Deutlichkeit produciren kann. Diess gilt selbst von ganz verwandten Bildern; wie ich z. B. oft den Versuch mit zwei auf derselben Photographie befindlichen Portraitfiguren oder neben einander hängenden Portraits in meinem Wohnzimmer angestellt habe, deren keines ich oft hinter einander in Erinnerung reproduciren kann, wohl aber beide in mehrfachem Wechsel. Setze ich jedoch diesen Wechsel etwas rasch oft hintereinander fort, so finde ich mich endlich für beide Bilder abgestumpft, kann aber zu einem dritten Bilde mit Erfolg übergehen.

Nachbilder kann ich überhaupt nicht durch Willkühr umwandeln. Erinnerungsbilder kann ich leicht nach Willkühr mit anderen vertauschen, viel schwieriger allmälig in andere umwandeln oder phantastisch ändern.

In keinem Falle stellen sich mir Gegenstände im Erinnerungsfelde in anderen Verhältnissen zu einander dar, als es den Formen der Anschauungen mit offenen Augen entspricht, und eben so kann meine Phantasie mit ihren Schöpfungen nicht aus diesen Gränzen heraus. So kann ich mir keinen Menschen zugleich *en face* und von seiner Rückseite vorstellen, obwohl mit der Vorstellung gleichsam um ihn herumgehen.

Was mir sehr unerwartet war und ich doch bei wiederholten Beobachtungen nicht anders finden kann, ist, dass es mir leichter gelingt, Erinnerungsbilder mit einer, zwar stets nur sehr geringen, aber doch verhältnissmässig grösseren Deutlichkeit bei offenen Augen, als bei geschlossenen Augen zu erzeugen; nur muss ich dabei gänzlich die Aufmerksamkeit vom Aeusseren

abstrahiren; so dass es mir entschwindet, was mir an sich nicht schwer ist und um so leichter gelingt, wenn ich die Augen niederschlage und wie träumend gegen den Boden richte. Es kommt mir so zu sagen vor, als ob bei gänzlichem Schlusse der Augen der Lichtstoff fehlte, die Bilder daraus zu weben, als wenn das Augenschwarz nichts dazu hergäbe, und störender für ihre Wahrnehmung wirkte, als des Tages sanfte Helligkeit. — Hingegen bin ich zum abstracten Denken niemals besser als früh Morgens im Dunkel im Bette aufgelegt.

Nachbilder scheinen sich in gleicher Richtung mit zu bewegen, wenn man Kopf oder Augen bewegt; ob dasselbe mit Erinnerungsbildern der Fall sei, fällt mir wegen der grossen Schwäche derselben und der Schwierigkeit, überhaupt noch etwas davon präsent zu erhalten, wenn ich zugleich etwas Anderes mit Bewusstsein vornehme, schwer zu beurtheilen. Doch hat es mir immer geschienen, dass z. B. ein Thurm, ein Baum, der Mond am Himmel, wenn ich mir sie nur (sei es mit offenen oder geschlossenen Augen) feststehend vorstelle, auch ihre Lage in der Vorstellung unverändert beibehalten, während ich Kopf oder Augen hin- und herbewege. Wie es sich mit nicht absichtlich durch Vorstellung fixirten Erinnerungsbildern verhält, vermag ich nicht zu sagen; sie verschwinden mir bei jeder Bewegung des Kopfes oder der Augen, wenn ich zugleich Acht geben will, ob sie bewegt oder nicht bewegt erscheinen; indem sie diese Theilung der Aufmerksamkeit nicht vertragen.

Das Sehfeld, in welches sich die Nachbilder einzeichnen und das scheinbare Sehfeld der Erinnerungsbilder bieten für die Erscheinung folgende Unterschiede dar. Das Feld der Nachbilder bei geschlossenen Augen, das schwarze Sehfeld, scheint mir von sehr beschränkter Grösse, ohne alle Tiefe, unmittelbar vor meinen Augen oder mit der Verticalebene derselben selbst coincidirend. Selbst wenn ich die Nachbilder sehr verschieden ferner Gegenstände zugleich im geschlossenen Auge habe, erscheinen sie mir doch wie auf einer Fläche neben einander und ihrer Grösse nach nur durch den Gesichtswinkel bestimmt, unter dem die Objecte erschienen, welche das Nachbild gaben, so dass die Täuschung, die uns bei offenen Augen zur anderen Natur geworden ist, dass gleich grosse, verschieden ferne Gegenstände auch gleich gross

erscheinen, in den Nachbildern dieser Gegenstände verschwindet, worüber ich positive Erfahrungen habe*).

In allen diesen Hinsichten verhält sich die Erscheinung des Feldes der Erinnerungs- und Phantasiebilder bei mir ganz anders. Da wir die Gegenstände immer vor uns sehen, so bin ich allerdings auch von selbst geneigt, die Gegenstände, an die ich mich erinnere, vielmehr vor mir als hinter mir befindlich vorzustellen; aber ich kann sie nicht nur beliebig weit vor mir, sondern auch hinter mir, seitlich, über, unter mir befindlich vorstellen, kann mir selbst zugleich oder in schnellem Wechsel einen Thurm vor mir und einen Thurm hinter mir vorstellen, die Gegenstände vor mir ebensowohl hinter einander als neben einander vorstellen.

Wenn ich früh Morgens nach hereingebrochenem Tage noch im Bette liege, und die ruhig gehaltenen offenen Augen etwa einmal schliesse, stellt sich mir gewöhnlich das schwarze Nachbild des weissen Bettes unmittelbar vor mir und das weisse Nachbild des schwarzen Ofenrohres an der gegenüberstehenden, ziemlich entfernten Wand der langen Kammer, in der ich schlafe, zugleich mit grosser Intensität dar. Beide erscheinen mir wie auf einer Fläche neben einander, und indess ich mit offenen Augen die ganze Länge des weissen Bettes zu erblicken meine, stellt sich mir im Nachbilde bei geschlossenen Augen nur ein verhältnissmässig schmaler schwarzer Streifen statt dessen dar, in Betracht der grossen Verkürzung, in der ich das Bett gesehen. Statt dessen reproducirt das Erinnerungsbild die ganze Täuschung der Erscheinung bei offenen Augen.

Kurz, während mir das schwarze Sehfeld mit seinem Inhalte von Nachbildern nur zwei Dimensionen ohne Tiefe zu haben scheint, scheint mir das Sehfeld der Erinnerungsbilder drei Dimensionen mit Tiefe wie das Sehfeld bei offenen Augen zu haben. Wenigstens gilt diess insofern, als ich mir eine ganze Gegend, einen Stadttheil, ein Zimmer oder dergleichen auf einmal vorstelle.

Um das Nachbild eines begränzten Gegenstandes, z. B. einer Lichtflamme, im geschlossenen Auge wahrzunehmen, muss ich die Aufmerksamkeit auf das schwarze Sehfeld des geschlossenen Auges richten. Das Nachbild nimmt eine bestimmte, nicht willkühr-

*) Pogg. XLIV. 524.

lich von mir zu ändernde, Stelle dieses Sehfeldes ein, und wird von demselben so umgeben, dass die Verhältnisse seiner Helligkeit und Lage zu demselben unmittelbar aufgefasst und beurtheilt werden können. Hingegen, um ein Erinnerungs- oder Phantasiebild wahrzunehmen, muss ich die Aufmerksamkeit von dem schwarzen Sehfelde in demselben Sinne abziehen, als ich sie dazu von der Sphäre der Gehörs-, Getastempfindungen u. s. w. abziehen muss, und je mehr ich sie davon abziehe, desto deutlicher vermag mir ein Erinnerungs- oder Phantasiebild zu erscheinen.

Manchmal zwar scheint es mir zu gelingen, ein Erinnerungs- oder Phantasiebild auf das schwarze Sehfeld zu projiciren, oder in dieses so zu sagen mit der Phantasie Bilder hineinzumalen. Aber es scheint diess nur darauf zu beruhen, dass ich am meisten geneigt bin, das Erinnerungsbild vorn zu suchen oder dahin zu verlegen; es gelingt mir doch nicht so, dass ich mir der Verhältnisse des Bildes zum Felde ruhig bewusst werden könnte; sondern ich fühle dabei eine eigenthümliche Anstrengung, welche in dem Versuche zu beruhen scheint, den schnellen Wechsel zwischen dem Sehfelde der Nachbilder und Vorstellungsbilder in Coincidenz zu verwandeln und werde mir auch nie eines vollkommenen Gelingens bewusst.

Damit hängt Folgendes zusammen: Ich bin sehr wohl im Stande, ein grösseres Erinnerungsbild, was eine Mehrheit unterscheidbarer Theile einschliesst oder auch eine Mehrheit zusammenhängender Erinnerungsbilder gleichzeitig mit Bewusstsein aufzufassen, oder, insofern statt einer wirklichen Gleichzeitigkeit ein sehr schnelles Durchlaufen den Schein der Gleichzeitigkeit erwecken sollte, was streng zu unterscheiden nicht wohl möglich ist, das rasche successive Ueberschauen mit einem Gefühle vollkommener Continuität der Thätigkeit, als bleibe ich in demselben Felde, zu thun. Ganz eben so wie mit Erinnerungsbildern für sich verhält es sich mit Nachbildern für sich. Auch kann ich zwischen bewusster Auffassung von Nachbildern und Erinnerungsbildern sehr schnell wechseln, bin aber durchaus nicht im Stande, ein Nachbild und Erinnerungsbild gleichzeitig oder mit dem Scheine der Gleichzeitigkeit bewusst aufzufassen, und habe im Uebergange von einem zum anderen nicht dasselbe Gefühl der Continuität, wie wenn ich im Anschauungsfelde der Erinnerungsbilder oder Nachbilder für sich bleibe.

Bei Gelegenheit der S. 473 angeführten Erfahrung in meinem Schlafzimmer habe ich versucht, das Erinnerungsbild, in dem ich Bett und Ofenrohr hinter einander zu sehen meine, aus dem Nachbilde, in dem Alles wie auf einer Fläche erscheint, herzustellen, indem ich es durch die Vorstellung selbst darein umzuwandeln suchte; und man könnte meinen, es müsse noch leichter gelingen, das Erinnerungsbild aus dem Nachbilde herzustellen, als es frisch zu erzeugen. Aber der Versuch gelang nicht, sondern die Aufmerksamkeit musste erst ganz vom Nachbilde abgezogen werden, um das Erinnerungsbild mit dem Scheine des Vorn und Hinten herzustellen.

Wenn wir die Aufmerksamkeit von einem Sinnesgebiete auf das andere wenden, so haben wir zugleich ein bestimmtes, nicht zu beschreibendes, aber von Jedem leicht in der Erfahrung zu reproducirendes Gefühl der abgeänderten Richtung, was wir als das Gefühl einer verschieden localisirten Spannung bezeichnen können. Wir fühlen eine nach vorn gerichtete Spannung in den Augen, eine seitlich gerichtete in den Ohren, die mit dem Grade der Aufmerksamkeit wächst, je nachdem wir etwas aufmerksam fixiren, auf etwas aufmerksam horchen, wesshalb man auch von einer Spannung der Aufmerksamkeit selbst spricht. Am deutlichsten fühlt man den Unterschied, wenn man mit der Richtung der Aufmerksamkeit zwischen Auge und Ohr schnell wechselt. Entsprechend verschieden in Beziehung zu den verschiedenen Sinnesorganen localisirt sich das Gefühl, je nachdem wir etwas fein riechen, schmecken, tasten wollen.

Nun aber habe ich ein ganz analoges Gefühl der Spannung, als wenn ich etwas recht scharf mit Gesicht oder Gehör auffassen will, wenn ich mir ein Erinnerungs- oder Phantasiebild möglichst deutlich vergegenwärtigen will; und dieses ganz analoge Gefühl ist ganz anders localisirt. Während bei möglichst scharfer Auffassung von objectiven sichtbaren Gegenständen, so wie von Nachbildern, die Spannung deutlich nach vorn geht und bei Wendung der Aufmerksamkeit zu anderen Sinnessphären nur die Richtung zwischen den äusseren Sinnesorganen wechselt, indess der übrige Kopf nach dem Gefühle spannungslos ist, zieht sich bei der Beschäftigung der Erinnerungs- oder Phantasiethätigkeit die Spannung dem Gefühle nach ganz von den äusseren Sinnesorganen ab, und scheint vielmehr den Theil des Kopfes, den das Gehirn aus-

füllt, einzunehmen; und will ich mir z. B. eine Gegend oder Person vor mir recht lebhaft vergegenwärtigen, so wird sie um so lebhafter vor mir auftauchen, nicht je mehr ich die Aufmerksamkeit nach Vorn spanne, sondern je mehr ich sie so zu sagen dahinter zurückziehe. Noch Einiges hierüber weiter unten.

Hallucinationen vor dem Einschlafen, wie sie so viele Personen haben, kommen bei mir nicht vor; und das lebhafte Lichtflackern, was ich wegen krankhaften Zustandes meiner Augen stets im geschlossenen Auge habe, gestaltet sich nie zu bestimmten Figuren, noch kann ich es durch Phantasiethätigkeit dazu gestalten.

Nach Allem stellen sich die Erinnerungs- und Phantasiebilder bei mir in einer, wie es scheint bei Anderen seltenen, Schwäche dar, selbst wenn ich die Erinnerungs- und Phantasiethätigkeit noch so sehr anstrenge, indess sich Nachbilder mit grösster Leichtigkeit und grosser Intensität, oft lästig, bei mir einstellen; und ich keinen Anlass habe, meinen Farbensinn bei offenen Augen für weniger entwickelt zu halten, als den von anderen Personen.

Wo möglich noch schwerer als im Felde des Gesichtssinnes producire ich Erinnerungen im Gebiete anderer Sinne. So bin ich noch weniger im Stande, mir den Klang der Stimme meiner Frau oder anderer Personen, mit denen ich täglich umgehe, mit irgend welcher Deutlichkeit in der Erinnerung zu reproduciren, als ihr Gesicht, wenn schon ich dieselben Personen bei wirklichem Hören ihrer Stimme im Dunkeln unter Tausenden wiedererkennen würde. Gar nicht gelingt mir die Reproduction mit Geruchs- und Geschmacks-Empfindungen. Einfache Melodien jedoch kann ich nach öfterem Hören wohl merken und mir die Erinnerung daran durch ein leises Nachsingen oder leise Bewegungen des Kehlkopfes, als sänge ich, erleichtern. Das Localgefühl des Besinnens auf Empfindungen in anderen Sinnesgebieten als dem des Gesichtes scheint mir mit dem Localgefühle in diesem übereinzustimmen; manche rauschende Musik jedoch glaube ich ohne Besinnen in der Erinnerung doch mehr wie mit den Ohren zu hören.

So weit zunächst die eigenen Beobachtungen. Mit diesen fand ich die Wahrnehmungen Anderer, welche ich zur Selbstbeobachtung veranlasste, im Allgemeinen um so mehr übereinstimmend, je mehr sie in der Schwäche der Erinnerungs- und Phantasiebilder mit mir übereinstimmten, constatirte aber dabei leicht die

beiden Thatsachen, dass die Lebhaftigkeit dieser Bilder bei verschiedenen Personen ausnehmend verschieden ist, und dass, je mehr sich diese Phänomene sinnlichen Phänomenen als wie den Nachbildern in der Stärke nähern, um so mehr auch die anderen angegebenen Verschiedenheiten derselben davon schwinden, so dass schliesslich nur der wesentliche Unterschied der spontanen und nicht spontanen Erzeugung und Abänderung zwischen beiden übrig zu bleiben scheint.

Es würde von Interesse sein, diesen Gegenstand statistisch zu bearbeiten, und ich bedauere, die früher wirklich beabsichtigte derartige Verfolgung des Gegenstandes doch über anderen Gegenständen vernachlässigt zu haben, so dass mir gegenwärtig kein so ausgedehntes Material zur Vergleichung zu Gebote steht, als ich selbst wünschte. Vielleicht jedoch würde aus einer grösseren Zahl von Fällen auch nicht viel mehr zu lernen sein, als aus den folgends mitzutheilenden, verhältnissmässig wenigen, die ich noch in letzter Zeit gesammelt habe. Uebrigens liegt auf der Hand, dass es überhaupt schwer ist, genaue, zuverlässige Angaben in diesem Gebiete zu erhalten, da es schon schwer ist, solche zu geben und nur die rechten Ausdrücke dabei zu finden. Eine sorgfältige und wiederholte Selbstbeobachtung mit Abhaltung von Selbsttäuschungen, und eine bestimmte Fragestellung, wenn man Angaben von Anderen verlangt, mit Vorsicht, ihnen nicht Antworten in den Mund zu legen, wird dabei vorausgesetzt. Auch wird sich eine objective Garantie, dass man bei Befragung Anderer recht verstanden worden sei und recht verstanden habe, und dass überall ganz vergleichbare Umstände der inneren Beobachtung stattgefunden haben, bezüglich mancher Puncte kaum geben lassen.

Unstreitig ist in letzter Hinsicht nöthig, auf vergleichbare Objecte der Erinnerung Bezug zu nehmen, um vergleichbare Antworten erwarten zu können, ohne dass mir doch ein Halten an ganz bestimmten Gegenständen von Nutzen scheint. Nur hat man zu unterscheiden, ob es sich um geläufige oder nicht geläufige Erinnerungen, um beschränkte Erinnerungsbilder, wie von einer Rose, einem Gesichte, einem Thurme, die ich gewöhnlich als Beispiele anwende, oder unbeschränkte, wie von einer ganzen Gegend, handelt, und ob die Erinnerungen unter Zuziehung dieser oder jener Associationsmittel gewonnen sind. Um nicht mit Complicationen zu beginnen, scheint mir zweckmässig, vorerst Erin-

nerungen an Anschauungen auszuschliessen, die unter Mithülfe eigener Thätigkeit gewonnen sind, deren Erinnerung dann associationsweise mit der des angeschauten Objectes zusammenwirkt, wie wenn der Maler sich malend, ein Spaziergänger durch die Gegend, die er vorstellt, sich gehend denkt. Eine weitere Fortsetzung dieser Beobachtungen würde übrigens wahrscheinlich noch auf manche Rücksichten und Unterscheidungen führen, die dabei zu machen sind, und bei diesem ersten Versuche, diess Gebiet einer genaueren Beobachtung zu unterwerfen, noch nicht sich dargeboten haben.

Ich will nun zunächst die speciellen Angaben einiger mehr oder weniger ausführlich von mir befragten Personen mittheilen, dann einiges Allgemeine über den Gegenstand bemerken. Hoffentlich wird man den Raum, den diese Mittheilungen in Anspruch nehmen, nicht zu sehr bedauern; da Detailangaben über das Verhalten der Phänomene bei verschiedenen Personen doch der einzige Weg sind, der überhaupt zu Etwas führen kann, und es bisher an dieser Erfahrungsunterlage fast ganz fehlte. Denn fast nur die Fälle, wo die Erinnerungsbilder sich Hallucinationen nähern oder in solche übergehen, haben bis jetzt die Aufmerksamkeit auf sich gezogen; unstreitig aber gilt vor Allem, erst nachzusehen, wie sich die Erscheinungen in Normalfällen verhalten.

Die folgenden Fälle sind nach dem aufsteigenden Grade der Annäherung an sinnliche Phänomene, den sie mir nach der Schilderung zu haben scheinen, geordnet.

1) Ch. H. Weisse, Prof. der Philosophie, mit mir in gleichem Alter (59 Jahre), scheint bezüglich der Erinnerungsbilder sich auf einer ganz ähnlichen Stufe als ich zu befinden; indem er eben so wenig deutliche Farbe oder Zeichnung daran produciren kann. Er hat, wenn er die Augen schliesst, eben so wenig wie ich ein rein schwarzes Gesichtsfeld, sondern allerlei farbloses Licht darin, woraus sich aber, je länger er die Augen geschlossen hält, um so bestimmter geformte Phantome weben, was bei mir nicht der Fall ist. Um sie zu beobachten, muss er die Aufmerksamkeit ganz entsprechend richten, als wenn er mit offenen Augen äussere Gegenstände betrachten will, sie vertreten ihm in dieser Hinsicht (eben so wie bei mir das Lichtflackern) ganz die Stelle derselben; wogegen er, um Erinnerungsbilder zu erhalten, eben so wie ich, die Aufmerksamkeit ganz von diesem Felde zurückziehen muss, durchaus die Erinnerungsbilder mit jenen sinnlichen Bildern nicht zugleich ins Auge fassen oder in das Feld derselben hineinmalen kann, was bei ihm so entschieden der Fall ist, dass er die unten folgenden entgegengesetz-

ten Angaben Anderer als auf unrichtiger Auffassung des Sachverhaltes beruhend anzusehen geneigt war.

2) A. W. Volkmann, Professor der Anatomie und Physiologie, ebenfalls 59 Jahre alt, kann ebenfalls nur »überaus schwache und undeutliche Erinnerungsbilder« produciren, sowohl was Form als Farbe anlangt, doch scheint ihm der Grad der Deutlichkeit merklich variiren zu können, ohne dass er die Umstände, von denen diess abhängt, anzugeben vermöchte. Vor dem Einschlafen hat er häufig, aber in sehr verschiedener Deutlichkeit, die bekannten Hallucinationen, »unter Umständen so deutlich, dass die Phantasiebilder den objectiven Bildern an Deutlichkeit der Contour und Intensität der Farben kaum nachstehen«, nicht minder erscheinen ihm im Traume Gegenden und andere Gegenstände mit Farben *). Hingegen sieht er nicht leicht Nachbilder und hat beim Schlusse der Augen normalerweise ein rein schwarzes (ob ganz lichtstaubloses?) Sehfeld. Beim Versuche, Erinnerungsbilder festzuhalten, entschwinden sie periodisch, oder, wie er sich lieber ausdrücken möchte, »werden periodisch zu einem blossen Gedankendinge.« Die Lage des Erinnerungsbildes im absoluten Raume ändert sich mit der Augenstellung, so dass er sich beim Erheben der Augen das Erinnerungsbild auch oben vorstellt **). Er kann sich die Erinnerungsbilder nur vor sich vorstellen. Er findet keinen wesentlichen Unterschied in der Leichtigkeit der Erzeugung der Erinnerungsbilder bei offenem und geschlossenem Auge. Gilt es Erinnerungsbilder bei geschlossenem Auge zu produciren, so muss er die Aufmerksamkeit dermassen in dem Erinnerungsbilde concentriren, dass ihm »darüber die Empfindung des schwarzen Sehfeldes an Deutlichkeit verliert«, und es gelingt ihm nicht, ein einzelnes Erinnerungsbild so in das schwarze Sehfeld hineinzumalen, dass es von demselben umgeben schiene, wie es bei einem Nachbilde der Fall ist. Jedoch scheint ihm »die gleichzeitige Auffassung eines Erinnerungsbildes und Nachbildes wohl möglich, wenn nicht etwa die Empfindungen des Nachbildes und Erinnerungsbildes so schnell alterniren, dass man sie für gleichzeitig bestehend hält. Aber das ohnehin in Form und Farbe äusserst undeutliche Erinnerungsbild wird durch die gleichzeitige Gegenwart des Nachbildes noch undeutlicher und die Reflexion auf dasselbe anstrengender.« Er findet bei Producirung der Erinnerungsbilder »eine gewisse Anstrengung im Kopfe unverkennbar, in den Augen keine«; eben so scheint ihm »Erinnerung an Gehörtes eine Anstrengung des Kopfes zu veranlassen, und das Localgefühl der Erinnerungen an Sichtbares und Hörbares ungefähr gleich.« Das Gefühl im Kopfe bei angestrengtem Besinnen »ähnelt einem inneren Drucke.«

---

*) Hiezu folgende Bemerkung: »In meinen Träumen sind, glaube ich, die Gehörwahrnehmungen constanter lebhaft als die Farben. Geruchsträume kann ich mich nicht erinnern gehabt zu haben. Geschmacksträume habe ich bestimmt nie. Ich esse im Traume gar nicht selten, aber stets ohne Geschmacksempfindung.«

**) Es ist versäumt worden, die Frage darauf zu stellen, ob diess auch noch der Fall ist, wenn er den Gegenstand der Erinnerung während der Bewegungen der Augen oder des Kopfes absichtlich als feststehend vorstellt.

3) W. Hankel, Prof. der Physik, 46 Jahre alt, erinnert sich, dass er als Knabe Erinnerungsbilder willkührlich mit sinnlicher Lebhaftigkeit, als wenn er sie mit Augen sähe, erzeugen und diese Bilder abändern konnte; doch ist diess jetzt nicht mehr der Fall. Immer noch aber vermag er sich deutlich Gegenstände mit ihren Farben (so z. B. das Farbenspectrum) und mit ihrer Form vorzustellen; aber nicht mehr mit dem Charakter sinnlicher Phänomene, nicht mehr, als wenn er sie mit Augen sähe. Von einem bestimmten Orte, wo sie ihm erschienen, kann er nicht sprechen, oder eine bestimmte Beziehung derselben zum schwarzen Sehfelde bei geschlossenen Augen angeben, von dem er vielmehr bei Erzeugung eines Erinnerungsbildes die Aufmerksamkeit eben so abstrahiren muss, wie von äusseren Gegenständen. Auch kann er Erinnerungsbilder nicht so in das schwarze Sehfeld hineinmalen, dass sie wie Nachbilder von demselben umgeben erschienen. Nachbilder sieht er nicht eben schwierig, hat vor dem Einschlafen keine Hallucinationen, aber im Schlafe viel Träume. Sein Sehfeld bei im Dunkeln geschlossenen Augen ist rein schwarz, nur mit dem wohl überall normalen, jedoch ohne besonders darauf gerichtete Aufmerksamkeit leicht zu übersehenden, sparsam eingestreuten Lichtstaube. Er producirt im Ganzen leichter Erinnerungsbilder bei offenen als geschlossenen Augen. Er kann solche festhalten, ohne dass sie sich unwillkührlich ändern, wobei sich nur, wie selbstverständlich, die Aufmerksamkeit allmälig abstumpft. Einen Thurm kann er sich eben so leicht hinter sich als vor sich vorstellen, ein Farbenspectrum leichter vor sich als hinter sich. Ob die Erinnerungsbilder bei Bewegung des Kopfes und der Augen sich mit bewegen, schien ihm schwer zu entscheiden. Die Erzeugung von Erinnerungsbildern scheint ihm von einem hinter der Stirn localisirten Gefühle der Intention begleitet; dieses Gefühl aber beim Besinnen auf Melodien weiter rückwärts liegend als beim Besinnen auf Sichtbares. Das Anstrengungsgefühl beim Besinnen scheint ihm mehr expansiv, als contractiv.

4) M. W. Drobisch, Professor der Mathematik und Philosophie, einige Jahre jünger als ich, erzeugt leicht farbige Erinnerungsbilder von farbigen Gegenständen, indess ihm nicht leicht gelingt, eine feste bestimmte Zeichnung derselben zu erhalten oder die Bilder stetig festzuhalten, da vielmehr die Phantasie solche so zu sagen alsbald zerspielt. Im Traume sieht er manchmal Gegenden mit orientalischer Farbenpracht. Auch Nachbilder erscheinen ihm sehr leicht, so dass sie bei Schluss seiner Augen (von denen das linke in der Sehkraft gelähmt ist) noch eine Zeit lang sein Gesichtsfeld zu erfüllen pflegen; jedoch endlich dasselbe leer lassen. Vor dem Einschlafen hat er oft die bekannten Gesichtshallucinationen. Darüber, ob er die Erinnerungsbilder leichter bei offenen oder geschlossenen Augen erzeugt, mochte er sich nicht entscheiden. Um Erinnerungsbilder bei Schluss der Augen zu produciren, muss er die Aufmerksamkeit vom schwarzen Sehfelde abwenden, kann die Bilder nicht auf dasselbe projiciren, noch mit Nachbildern zugleich auffassen. Die Sehfelder der Erinnerungs- und Nachbilder scheinen ihm verschieden und das Augenschwarz entschwindet seinem Bewusstsein, während er sich mit sichtbaren Gegenständen beschäftigt. Doch

scheint ihm, als wenn er beim Schauen geläufiger Erinnerungsbilder die Augen brauchte, nicht den Kopf dahinter; eben so wie er auch beim Erinnern an geläufige Gehörseindrücke ein Gefühl wie vom Gebrauche der Ohren, beim Erinnern an Geschmackseindrücke wie vom Schmecken der Zunge hat. Um ein nicht geläufiges Erinnerungsbild erst sich deutlich zu machen, fühlt er jedoch die Anstrengung vielmehr wie im Kopfe hinter den Augen, als in den Augen. Beim Gefühle des Besinnens, als wenn er sich den Kopf über etwas zerbrechen wollte, hat er nicht sowohl (wie ich) ein Gefühl der Zusammenziehung der Kopfhaut, sondern als wenn der Kopf von Innen heraus zersprengt werden sollte, und der Schädel dem Drucke von Innen Widerstand leistete. Er erzeugt Erinnerungen in anderen Gebieten als dem des Gesichtes eben so leicht als in diesem selbst.

In Betreff der speciellen Frage, ob die Erinnerungsbilder sich mit Kopf und Augen zu bewegen scheinen, erklärte er sich nach meiner Bitte um nähere schriftliche Aufzeichnung so:

»Ich kann eigentlich nicht so unbedingt, uneingeschränkt sagen, dass Erinnerungsbilder mir mit Kopf und Augen sich zu bewegen scheinen, dass ich ihre Bewegung wahrnehmen könnte, vielmehr verhält sich die Sache so. Ich stehe am Fenster meines Zimmers, sehe von da den Paulinerthurm nach seiner Lage gegen das Kirchdach, das Bibliothekgebäude etc. und dies alles wieder eingerahmt von dem Fenster. Von diesem Ganzen bleibt mir nun ein Erinnerungsbild, das mir innerlich ganz eben so vor Augen schwebt, wie es, wenn ich es an jener Stelle sehe, vor Augen steht. Nun kann ich mich umdrehen, in das Nebenzimmer gehen etc., so wird, wenn ich mich jener Ansicht erinnere, das Bild immer in derselben Lage gegen meinen Körper vor mir schweben, wie die gesehenen Gegenstände vor mir standen, und das bleibt sich gleich, wenn ich auf- und abgehe, mich drehe. Ebendeshalb weil das Bild in Bezug auf meinen Körper oder wenigstens den Kopf und die Augen insbesondere seine Lage nicht ändert, kann ich nicht sagen, dass ich eine Bewegung des Bildes beobachtete, sondern ich komme nur durch Reflexion dazu, eine solche Bewegung anzunehmen, wenn ich mir bewusst werde, dass die Stellung meiner Augen und meines Körpers eine andere geworden ist. Stelle ich mir vor — abwärts vom Fenster gehend —: »»die Kirche liegt hinter dir, indess der Thomasthurm vor dir liegt««, so kann ich mir das »»hinter mir«« zwar vorstellen, aber nicht auf einmal mit dem »»vor mir««, sondern mir ist's, als müsste ich mich erst zu diesem Zwecke umsehen.«

5) Meine eigene, vielfach von mir ausgefragte, Frau, Clara Maria, Schwester des Prof. Volkmann, 51 Jahre alt, mit in jeder Hinsicht sehr scharfen und gesunden Sinnen, und von sehr lebhaftem Erinnerungsvermögen, kann auf's Deutlichste Farben und Gestalt der Gegenstände in Erinnerung reproduciren, sieht auch im Traume manchmal Gegenden in Farben und Sonnenglanz, anderemale nur nächtig, wie grau in grau, und hat vor dem Einschlafen nicht selten die bekannten Hallucinationen, wogegen sie von gelegentlich entstehenden Nachbildern nichts weiss und solche auch bei absichtlichen Versuchen sehr schwer erhält. Das Sehfeld bei geschlossenen

Augen ist rein schwarz, nur mit dem normalerweise eingestreuten sparsamen Lichtstaube. Sie kann Erinnerungsbilder recht wohl stetig mit der Aufmerksamkeit festhalten, ohne dass dieselben entschwinden, fluctuiren, sich ändern. Bei Bewegungen des Kopfes scheinen ihr Erinnerungsbilder, wenn sie solche als feststehend vorstellt, sich durchaus nicht mit zu bewegen, diess hingegen der Fall zu sein, wenn sie solche nicht mit der Vorstellung fixirt. Sie sieht bei geschlossenen Augen die Erinnerungsbilder lebhafter als bei offenen. Sie kann einzelne Erinnerungsbilder, wie das einer Rose, in das Schwarz des geschlossenen Auges hineinzeichnen, so dass sie davon umgeben scheinen, doch kostet ihr diess viel mehr Anstrengung, als wenn sie das Erinnerungsbild unabhängig davon zu produciren sucht, wobei ihr vielmehr der innere Kopf, als die Augen thätig zu sein scheint. Die Bilder scheinen ihr zwar im Allgemeinen vor den Augen zu schweben, doch kann sie dieselben auch seitlich und mit einer gewissen Schwierigkeit rückwärts vorstellen, indem es ihr aber dabei ist, als müsse sie sich umkehren oder richtete wirklich die Augen dahin, eine Aeusserung, die sie unabhängig von Drobisch und ohne darauf geführt zu sein, that. Wenn sie sich eine ganze Gegend bei geschlossenen Augen vorstellt, so meint sie diese in Farben mit Hintergrund und Vorgrund deutlich vor sich zu sehen, wie in Wirklichkeit, wobei das Schwarz des Auges ganz verschwindet, aber es ist ihr doch, als wenn sie dieselben mehr mittelst einer Thätigkeit des ganzen Inneren des Kopfes als der Augen sähe. Das Gefühl der Anstrengung, wenn sie sich auf etwas besinnen will, scheint ihr ein Gefühl der Zusammenziehung, wie es scheint, sehr ähnlich als bei mir, zu sein, ohne dass meine Angabe vorausgegangen war. Auch Gehörseindrücke, wie den Klang der Stimme eines bekannten Menschen, Blumengerüche, Geschmacksempfindungen vermag sie leicht und deutlich in Erinnerung zu reproduciren. Ein Veilchengeruch, ein Nelkengeruch z. B. kommt ihr auf das Deutlichste wieder.

6) Dr. M. Busch, 39 Jahre alt, bekannt als Reisender, Verfasser verschiedener Reiseschriften, die sich durch Anschaulichkeit der Schilderungen auszeichnen, und Redacteur des Grenzboten, sieht leicht und lebhaft Erinnerungsbilder mit deutlichen Umrissen und in ihren vollen Farben, wusste aber nichts von Nachbildern, träumt zwar selten, aber lebhaft und sieht auch im Traume Farben, hat vor dem Einschlafen niemals Hallucinationen und bei Schluss der Augen ein dunkles, gleichförmiges, etwas bläuliches Gesichtsfeld. Er kann deutliche Erinnerungsbilder auch mit Stetigkeit festhalten. Bei wiederholten Versuchen findet er, dass die Erinnerungsbilder den Bewegungen des Auges und Kopfes folgen; gefragt jedoch, ob diess auch dann noch stattfinde, wenn er die Gegenstände der Erinnerung absichtlich als feststehend vorstelle, findet er, dass sie dann auch festbleiben. Er richtet die Aufmerksamkeit bei geläufigen Erinnerungsbildern sichtbarer Gegenstände bei geschlossenen Augen geradezu auf das schwarze Sehfeld, malt mit Leichtigkeit begränzte Erinnerungsbilder farbig und in festen Contouren hinein, so dass sie davon umgeben scheinen oder stellt sich eine ganze Gegend vor die Augen, fühlt die Thätigkeit, mit der er sie sieht, wie in den Augen, nicht im Gehirne; eben so ist es ihm bei Erinnerungen an

Gehörtes, was er nicht minder deutlich als Gesehenes zu reproduciren vermag, als wenn er das Ohr dazu brauchte. Jedoch findet, entsprechend wie bei Drobisch, dieses Gefühl, als wenn er die äusseren Sinnesorgane bei Erinnerungen brauchte, nur insofern statt, als er sich geläufige Erinnerungsbilder vorstellt, wogegen ihm bei der Thätigkeit des Besinnens, um ein nicht geläufiges Erinnerungsbild erst zusammenzubringen, auch vielmehr das Gehirn als die Augen thätig zu sein scheint, bis das Bild in voller Deutlichkeit da ist, wo es sich wie die anderen verhält. Das Anstrengungsgefühl beim Besinnen ist ein contractives, wie von Zusammenziehung der Kopfhaut.

Busch vermag sich auch aus seiner Kindheit vom 4. Jahre her noch mit grösster Deutlichkeit die häusliche Einrichtung und Personen seiner Umgebung zu vergegenwärtigen; indess ihm von den Schuljahren und Universitätsjahren keine so deutlichen Erinnerungsbilder zurückgeblieben sind. Merkwürdig, dass eine doppelte Portion Haschisch, die er auf seiner orientalischen Reise zu sich nahm, doch nicht anschlug, ihm keine Phantasien erweckte. Eben so wenig gelang das Aetherisiren trotz verhältnissmässig langer Einathmung bei einer Zahnoperation. Bewusstsein und Schmerzgefühl blieben.

In dem letzten der hier mitgetheilten Fälle nähern sich die Erinnerungsbilder sowohl Seitens ihrer Lebhaftigkeit als anderer Umstände schon sehr den sinnlichen Phänomenen. Doch kann die Annäherung noch weiter gehen; und um den Klimax zu vollenden, theile ich einige Beispiele der Art nach anderen Autoren mit*).

Goethe sagt in s. Beiträgen zur Morphologie und Naturwissenschaft: »Ich habe die Gabe, wenn ich die Augen schliesse und mit niedergesenktem Haupte mir in die Mitte des Sehorganes eine Blume denke, so verharrt sie nicht einen Augenblick in ihrer ersten Gestalt, sondern sie legt sich auseinander und aus ihrem Inneren entfalten sich wieder neue Blumen aus farbigen, auch wohl grünen, Blättern; es sind keine natürlichen Blumen, sondern phantastische, jedoch regelmässig, wie die Rosetten der Bildhauer. Es ist unmöglich, die hervorsprossende Schöpfung zu fixiren, hingegen dauert sie so lange, als mir beliebt, ermattet nicht und verstärkt sich nicht. Dasselbe kann ich hervorbringen, wenn ich mir den Zierrath einer buntgemalten Scheibe denke, welcher dann ebenfalls aus der Mitte gegen die Peripherie sich immerfort verändert, völlig wie die Kaleidoskope.«

Cardanus (*de varietate rer. lib. VIII. p.* 160 *seq., de subtilitate XVIII. p.* 519 *seq.*) erzählt von sich selber, dass er sich, was er gewollt, habe leuchtend vorstellen können. — Gruithuisen (Anthropol. §. 449) theilt den Fall eines Mannes mit, der in seiner Jugend seinen Vater sich leuchtend vorstellen konnte, was ihm später minder gut gelang. — J. Müller (phant.

*) Die folgende kleine Zusammenstellung mit Ausnahme des von Brierre de B. mitgetheilten ist aus J. Müller, über phant. Ges. (S. 27. 82) entlehnt.

Ges. (§. 117. S. 149) gedenkt eines Malers H., dem es oft gelang, das, was er mit Willen im dunkeln Sehfelde sich einbildete, leuchtend und farbig zu sehen. Diese willkührlichen Phantasmen entwickelten und verwandelten sich aber sofort ohne Willensbestimmungen.

Brierre de Boismont (*Des halluc. p.* 39) theilt folgenden Fall mit:

»Un peintre, qui avait hérité en grande partie de la clientèle du célèbre sir Josué Reynolds, et se croyait d'un talent supérieur au sien, était si occupé qu'il m'avoua, dit Wigan, avoir peint dans une année 300 portraits grands et petits. Ce fait paraît physiquement impossible; mais le secret de sa rapidité et de son étonnant succès était celui-ci: il n'avait besoin que d'une séance pour représenter le modèle. Je le vis exécuter sous mes yeux en moins de huit heures le portrait en miniature d'un Monsieur que je connaissais beaucoup; il était fait avec le plus grand soin et d'une ressemblance parfaite.

Je le priai de me donner quelques détails sur son procédé, voici ce qu'il me répondit: »Lorsqu'un modèle se présentait, je le regardais attentivement pendant une demi-heure, esquissant de temps en temps sur la toile. Je n'avais pas besoin d'une plus longue séance. J'enlevais la toile et je passais à une autre personne. Lorsque je voulais continuer le premier portrait, *je prenais l'homme dans mon esprit, je le mettais sur la chaise, où je l'apercevais aussi distinctement que s'il y eût été en réalité;* et je puis même ajouter avec des formes et des couleurs plus arrêtées et plus vives. Je regardais de temps à autre la figure imaginaire, et je me mettais à peindre; je suspendais mon travail pour examiner la pose, absolument comme si l'original eût été devant moi; *toutes les fois que je jetais les yeux sur la chaise, je voyais l'homme.*«

Allmälig kam dieser Maler dahin, seine Phantasiebilder mit Wirklichkeit zu verwechseln, verfiel in eine dreissigjährige Geisteskrankheit, von der er jedoch endlich hergestellt wurde, wonach sein Erinnerungsvermögen und Malertalent sich noch fast ungeschwächt zeigte. Doch starb er bald nachher.

Einige andere hieher gehörige Beispiele berichtet Brierre de B. p. 58 f. und 479 seines Werkes.

Besonders sorgfältig hat H. Meyer in s. Physiologie der Nervenfaser S. 239 ff. die von ihm selbst beobachteten, willkührlich erzeugten Sinnesphantasmen beschrieben, und ich theile seine Beschreibung hier speciell mit, weil sie von einem exacten Beobachter herrührt und dabei auf die besonderen Verhältnisse ihrer Erzeugungsweise genauere Rücksicht genommen ist, um so lieber, als sie nicht sehr bekannt worden zu sein scheint.

»Durch vielfache Uebung habe ich es dahin gebracht, dass es mir möglich ist, subjective Gesichtsempfindungen willkührlich zu erwecken. Ich stellte alle Versuche bei Tag oder Nacht mit geschlossenen Augen an. Anfangs war es mir sehr schwierig. In den ersten Versuchen, welche mir gelangen, zeigte sich das ganze

Bild leuchtend, die Schatten waren durch weniger starkes, etwas bläuliches Licht gegeben. Bei weiteren Versuchen sahe ich die Gegenstände dunkel und mit hellen Umrissen, oder vielmehr nur Umrisszeichnungen derselben durch helle Linien auf dunklem Grunde gebildet. Ich kann diese Zeichnungen weniger einer Kreidezeichnung auf einer schwarzen Tafel vergleichen, als einer Phosphorzeichnung auf einer dunkeln Wand in der Nacht, abgerechnet jedoch die leuchtenden Dämpfe des Phosphors. Wollte ich z. B. ein Gesicht sehen, ohne dass ich jedoch dabei an eine bestimmte Person gedacht hätte, so sahe ich die Gränzlinie eines Profils leuchtend in dem schwarzen Grunde des Dunkels; so erschienen mir auch, als ich Darwin's Versuch (Zoonomie I. 1. S. 378) nachmachen wollte, nur die Ränder des Würfels als leuchtende Linien im dunkeln Grunde, mehrmals jedoch sahe ich den Würfel wirklich weiss und seine Ränder schwarz, er war dann in einem helleren Grunde; ich konnte sogar nach Willkühr einen weissen Würfel mit schwarzen Rändern in hellerem Felde und einen schwarzen Würfel mit weissen Rändern in dunklerem Felde sehen und kann dieses noch jeden Augenblick. Nach längerer Uebung erst gelangen mir die Versuche vollständiger und besser. Ich kann jetzt fast einen jeden Gegenstand, welchen ich will, als subjective Erscheinung sehen, und zwar in seiner natürlichen Farbe und Beleuchtung. So habe ich mir schon Gegenstände der verschiedensten Art vor die Augen gerufen. Ich sehe sie immer auf einem mehr oder weniger hellen oder dunkeln, meist dämmerigen, Grunde. Sogar bekannte Gesichter habe ich schon in aller Lebendigkeit mit der Farbe der Wangen und des Haares ganz scharf gesehen. Von den Ergebnissen dieser Versuche habe ich noch Folgendes besonders zu bemerken:

1) Einige Zeit nach dem Entstehen verschwinden die Figuren oder wandeln sich in andere um, ohne dass ich im Stande wäre, dieses zu verhindern.

2) Wenn die Farbe nicht integrirend zu einem Gegenstande gehört, so habe ich dieselbe nicht immer vollkommen in meiner Gewalt. Ein Gesicht erscheint mir z. B. nie blau, sondern stets in seiner natürlichen Farbe, dagegen statt des gedachten rothen Tuches wohl einzelne Male auch ein blaues erscheinen kann; überhaupt ist die Producirung einer bestimmten Farbe schwieriger, als einer bestimmten Gestalt, und die erste gelang mir bei meinen

anfänglichen Versuchen noch nicht, da mir schon die letzte gelang.

3) Reine Farben ohne Objecte zu sehen, ist mir einzelne Male gelungen, sie füllten dann das ganze Sehfeld aus.

4) Gegenstände, welche mir nicht bekannt sind, also blosse Phantasiebilder, sehe ich häufig nicht, und statt derselben erscheinen mir bekannte Gegenstände derselben Art; so wollte ich z. B. einmal einen Degengriff von Messing mit einem messingenen Korbe sehen, sahe aber statt dessen das mir geläufigere Bild eines Rapierkorbes.

5) Die meisten dieser subjectiven Erscheinungen, namentlich wenn sie hell waren, lassen, wenn die Augen während des Verweilens der Erscheinung schnell geöffnet werden, Nachbilder zurück; so dachte ich z. B. einen silbernen Steigbügel, und nachdem ich denselben eine Zeit lang betrachtet hatte, öffnete ich die Augen und sahe noch lange das dunkle Nachbild desselben.

Am bessten stelle ich die Versuche in ruhiger Rückenlage und mit geschlossenen Augen an; Lärmen darf nicht um mich herum sein, weil dieser es hindern würde, dass die Anschauung zu der nöthigen Intensität gesteigert wird. Mir gelingen die Versuche jetzt so leicht, dass ich mich wundern muss, dass sie mir nicht gleich Anfangs gelungen sind, und dass ich meine, es müsse es ein Jeder ebenfalls können. Die Hauptsache ist, dass man die Anschauung intensiv genug werden lässt durch ausschliessliche Richtung der Aufmerksamkeit auf dieselbe und Entfernung aller Störung.«

Das bisher Angeführte betraf Gesichtswahrnehmungen. Meyer stellte auch Versuche an, um durch die Kraft der Aufmerksamkeit Gehörs-, Geruchs-, Geschmacks-Empfindungen hervorzubringen, welche den sinnlichen an Stärke und Charakter gleich wären. Diess glückte ihm zwar hier nicht, wohl aber mit Empfindungen auf der Haut, worüber er Folgendes mittheilt:

»Auf der Haut gelingt es mir leicht, an welcher Stelle ich will, subjective Empfindungen hervorzubringen. Weil aber längere Unterhaltung der Anschauung dazu nothwendig ist, kann ich nur solche Empfindungen erwecken, welche längere Zeit andauern, wie Wärme, Kühle, Druck; schnell vorübergehende dagegen, wie von einem Stiche, Schnitte, Schlage u. s. w. vermag ich nicht hervorzurufen, weil es mir nicht gelingt, die entsprechenden Anschauungen so *ex abrupto* in der gehörigen Intensität zu erwecken. Die erstgenannten Empfindungen kann ich aber recht gut an beliebigen Hautstellen erregen, und sie können so lebhaft werden, dass ich, ich mag wollen oder nicht, mit der Hand über die Hautstelle hinstreichen muss, wie man es in Fällen örtlicher Hautempfindungen zu thun pflegt.«

Dass übrigens unter günstigen Umständen doch selbst auch heftige Schmerzen durch eine sehr lebhaft gewordene Vorstellung erzeugt werden können, dafür spricht folgender, ebenfalls von Meyer mitgetheilter Fall:

»Ein gebildeter Mann des Handelsstandes erzählte mir (Meyer) einmal, er sei eines Tages bei seinem Nachhausekommen von einem seiner kleinen Kinder dadurch erschreckt worden, dass dasselbe gerade bei seinem Eintreten sich einen Finger zwischen die Thüre gequetscht habe; im Augenblicke des Schreckens habe er einen heftigen Schmerz an der entsprechenden Stelle des gleichen Fingers seines eigenen Körpers gefühlt und dieser Schmerz habe ihn 3 Tage lang nicht verlassen.«

Hienach wende ich mich zu einigen allgemeinen Bemerkungen.

Lotze*) nennt die durch Erinnerung producirten Farbenvorstellungen schlechthin farblos, und mir selbst, so wie Weisse und Volkmann erscheinen sie angegebenermassen so ziemlich so; aber nicht nur die übrigen Personen, deren Angaben ich vorhin speciell mitgetheilt habe, sondern bei Weitem die grösste Mehrzahl der vielen Personen, die ich gelegentlich wegen dieses speciellen Umstandes befragt habe, versicherten mit grösster Bestimmtheit, die Farben der Gegenstände deutlich auch in Erinnerung reproduciren zu können. Manche schilderten die Lebhaftigkeit der Farben ihrer Erinnerungsbilder, z. B. vom Regenbogen, den Blumen, einer sonnenhellen Gegend, selbst mit lebhaften Farben und wollten gar nicht glauben, dass man solche nicht in Erinnerung zu reproduciren vermöge. Ja man hat mich wiederholt lebhaft bedauert, dass mir mit dem Farbenreize der Erinnerungswelt ein Hauptreiz abgehe, den sie gewähre.

Sehr wahrscheinlich hängt die grössere oder geringere Fähigkeit, deutliche Erinnerungsbilder zu erzeugen, von einer Seite mit der durch Anlage, Beruf, Lebensverhältnisse herbeigeführten Gewöhnung zusammen, seine Aufmerksamkeit mehr auf die Aussenwelt zu richten oder davon zu abstrahiren, und wenigstens trifft diess sehr auffällig bei Lotze**), Weisse und mir selbst zu. Von mir muss ich gestehen, dass ich mich gewöhnlich erst besonders anregen oder angeregt sein muss, zu sehen und zu hören, was um mich vorgeht, und nach Spaziergängen manchmal nicht sicher gewusst habe, welchen von zwei ganz verschiedenen Zweigwegen ich gegangen bin. Hankel hingegen, der so viel lebhaf-

*) In seinem Artikel Seele in Wagner's Wörterb. S. 169.

**) Nach den kurzen Angaben in s. Artikel Seele in Wagner's Wört.

tere Erinnerungsbilder als ich hat, ist gewohnt, scharf die Aussendinge ins Auge zu fassen, und selbst, wenn er während seiner Vorlesungen ganz mit seinem Gegenstande beschäftigt ist, entgeht ihm Nichts in seinem Zuhörerkreise. Busch, bei dem unter den von mir befragten Personen die Erinnerungsbilder die stärkste Annäherung an sinnliche Phänomene verrathen, sagt selbst, dass die Tendenz, auf seinen Reisen die Gegenstände getreu und für eine Wiedergabe deutlich aufzufassen, möglicherweise sein, wie es scheint, schon in der Jugend lebhaftes, durch Studium aber ausser Uebung gekommenes, Erinnerungsvermögen für äussere Gegenstände wieder aufgefrischt haben könne. Auch stimmt gut dazu, dass Frauen, deren Aufmerksamkeit der Aussenwelt im Ganzen viel mehr zugewandt ist, als die der Männer, so viele ich ihrer auch gefragt habe, leicht deutliche und farbige Erinnerungsbilder erzeugen können. Doch schreibt mir Volkmann, was mir nicht ohne Interesse scheint, dass bei seiner Frau die absichtlich producirten Erinnerungsbilder sehr undeutlich und blass sind, während sie bisweilen mit einer fast erschreckenden Lebhaftigkeit vor die Seele treten, so das Bild einer entfernten Tochter während Vornahme weiblicher Arbeiten in höchster Deutlichkeit nach Form und Farbe.

Inzwischen kann die Neigung, auf die Aussendinge zu reflectiren, möglicherweise auch umgekehrt durch die Leichtigkeit, sie innerlich zu reproduciren, mitbedingt werden; und unstreitig kann nicht Alles auf Gewöhnung ankommen, sondern es müssen auch angeborene Unterschiede der Productivität in diesem Felde stattfinden. Die fast der meinigen entsprechende Schwäche der Erinnerungsbilder bei Volkmann hängt doch mit keiner entsprechend einseitigen Abstraction von der Aussenwelt zusammen, wenn schon ich glaube, dass die Wendung nach Innen auch bei ihm überwiegt; und der dem meinigen ähnliche Beruf bei Drobisch würde nicht so viel lebhaftere Erinnerungsbilder erwarten lassen, wenn schon er unstreitig auch weniger von der Aussenwelt abstrahirt, als es bei mir der Fall ist.

Das Beispiel Hankel's und Busch's, so wie die Beispiele, welche J. Müller (phant. G. S. 45. 82) von sich und nach Gruithuisen von einem Anderen anführt, fodern übrigens auf, zu untersuchen, ob nicht bei Kindern, die, wie die Frauen vorzugsweise der Aussenwelt zugewandt sind, die Erinnerungs- und

Phantasiebilder überhaupt durchschnittlich lebhafter sind, als bei Erwachsenen; nur wird es meist schwer sein, sichere Vergleiche nach Erinnerung an sich selbst anzustellen und sichere Angaben von Kindern zu erlangen.

Der Unterschied, ob Erinnerungsbilder leichter bei offenen oder geschlossenen Augen erhalten werden, dürfte auch wesentlich mit von dem verschiedenen Vermögen abhängen, die Aufmerksamkeit von der Aussenwelt zu abstrahiren. Wo diess schwer gelingt, da werden die Aussendinge stets störend wirken; wo es leicht gelingt — und diess könnte sich selbst bei demselben Individuum nach Umständen verschieden verhalten — mag die allgemeine Anregung durch das Licht oder vielleicht auch die Gewohnheit, dass wir die Dinge doch nur mit offenen Augen sehen, eher begünstigend als nachtheilig wirken. Frauen scheinen allgemein leichter bei geschlossenen als offenen Augen Erinnerungsbilder zu produciren; wenigstens erklärten sich drei andere, die ich ausser meiner Frau darum befragte, freilich nur nach sehr beiläufiger Beobachtung, in demselben Sinne. Prof. Ed. Weber fand es hingegen, wie Hankel und ich, leichter, Erinnerungsbilder bei offenen als geschlossenen Augen zu produciren.

Das verschiedene Verhalten verschiedener Personen in diesem Bezuge erinnert daran, dass auch bei manchen Personen sich Hallucinationen leichter bei offenen als geschlossenen Augen einstellen, indess es bei anderen umgekehrt ist (s. unten).

Zu der grösseren oder geringeren Leichtigkeit der Entstehung von Nachbildern scheint die Leichtigkeit der Production von Erinnerungsbildern ganz bezugslos. Drobisch und ich z. B. sehen beide sehr leicht Nachbilder, aber indess bei ihm die Erinnerungsbilder lebhaft sind, sind sie bei mir ganz schwach. Uebrigens hat man bekanntlich bei Nachbildern die von Nachdauer überwiegend abhängige erste positive Phase, und von Abstumpfung überwiegend abhängige zweite negative Phase zu unterscheiden; und es würde erst noch näherer Untersuchung bedürfen, ob vielleicht verschiedene Individuen sich in Betreff des Verhältnisses beider Phasen unterscheiden, wonach dann auch das Verhältniss der Erinnerungsbilder zu den Nachbildern in Betreff beider Phasen besonders zu untersuchen wäre.

Die Frage, wie sich Erinnerungsbilder bei Bewegungen des Kopfes und der Augen verhalten, scheint nur mit Rücksicht auf

die besonderen Umstände ihrer Erzeugung und Betrachtung zu beantworten. Wenn man sie bei der Bewegung feststehend vorstellt, so scheinen sie auch nach Busch's und meiner Frau Angaben, und wie es mir selbst vorkommt, festzustehen; hingegen wenn man sie nicht absichtlich fest vorstellt, scheinen sie desshalb, weil man von Natur geneigt ist, sie vor sich zu denken, auch mit der Lage des Kopfes und der Augen ihre Lage im Raume aber nicht zu uns zu ändern, wie diess am bestimmtesten aus Drobisch's Angaben hervorgeht.

Hiebei ist mit an das Verhalten der unwillkührlichen Hallucinationen zu erinnern. J. Müller*) sagt von den vor dem Einschlafen und sonst bei Schluss der Augen unwillkührlich entstehenden Hallucinationen, die unten ausführlicher beschrieben werden: »Auch habe ich bei geschlossenen Augen nie bewirken können, dass sie sich mit den Augen wie die Blendungsbilder bewegten.« Er hebt (S. 38) ihren Unterschied in dieser Hinsicht von den Blendungsbildern (d. i. Nachbildern nach intensivem Lichteindrucke) noch ausdrücklich hervor, indem er sagt: »Die Blendungsbilder ändern mit der Bewegung der Augen ihr relatives Ortsverhältniss zu unserer eigenen Körperlichkeit; die phantastischen Bilder behaupten bei aller Bewegung der geschlossenen Augen eine beständige Stelle im Verhältnisse zu unserer eigenen Räumlichkeit, wenn sie sich nicht aus inneren Gründen ihrer Räumlichkeit bewegen.«

In der Regel scheint das Erinnerungsvermögen da, wo es im Gebiete des Gesichtssinnes schwach oder stark ist, auch sich entsprechend in den anderen Sinnesgebieten so zu verhalten; wenigstens habe ich bis jetzt noch keine Ausnahme in dieser Hinsicht gefunden; doch wird es wahrscheinlich solche geben; und namentlich werden Künstler in den verschiedenen Fächern und überhaupt Solche, welche sich mit einer gewissen Einseitigkeit mit Gegenständen, deren Auffassung einem besonderen Sinnesgebiete angehört, beschäftigen, zu befragen sein; wozu ich bisher die Gelegenheit versäumt habe. Ueberhaupt habe ich andere Sinnesgebiete nur beiläufig und obenhin berücksichtigt; und es würde z. B. in Bezug auf Gehörswahrnehmungen erst besonders zu untersuchen sein, ob ein gutes Erinnerungsvermögen z. B. für den Klang von Stimmen und Instrumenten auch immer mit einem solchen für Tonhöhe und Melodie zusammenfällt.

Das Spannungsgefühl der Aufmerksamkeit beim Gebrauche der verschiedenen Sinnesorgane scheint mir nur ein Muskelgefühl

---

*) Ueber phantastische Ges. E. S. 35.

zu sein, indem wir die mit den verschiedenen Sinnesorganen in Beziehung stehenden Muskeln beim Gebrauche der Sinne unwillkührlich durch eine Art Reflex mit in Thätigkeit setzen. Man kann dann fragen, an die Zusammenziehung welcher Muskeln das Spannungsgefühl der Aufmerksamkeit beim angestrengten Besinnen geknüpft sein soll? Hierüber giebt mir mein Gefühl sehr entschieden Auskunft; es erscheint mir ganz entschieden nicht wie das Gefühl einer Spannung im Inneren des Schädels, sondern wie das einer Spannung der Kopfhaut mit einer Zusammenziehung derselben und einem von Aussen nach Innen gehenden Drucke auf den ganzen Schädel, unstreitig erzeugt durch eine Zusammenziehung der Muskeln der Kopfhaut, was ganz gut mit dem Ausdrucke harmonirt, sich den Kopf zerbrechen, den Kopf zusammennehmen. Bei einem früheren krankhaften Zustande, wo ich nicht das geringste anhaltende Nachdenken vertrug und noch gar keine Theorie mich bestimmen konnte, nahmen die deutlich in der Kopfhaut, namentlich des Hinterkopfes, gespürten Muskelgefühle bei jedem Versuche des Nachdenkens einen krankhaften Charakter an.

Wie ich, fanden auch Busch, meine Frau, ausserdem Rüte und einige Andere, die ich noch befragt habe, das Gefühl des Besinnens contractiv; hingegen Drobisch und Hankel expansiv. Dieser Unterschied ist bemerkenswerth und dürfte seinem Grunde nach noch näher zu untersuchen sein.

Auf einige allgemeinere Betrachtungen gehe ich noch im Abschnitte *e*) ein, und wende mich jetzt zu verschiedenen Phänomenen, die gewissermassen Uebergangsglieder zwischen Nachbildern und Erinnerungsbildern darstellen, indem sie sich von gewisser Seite oder nach Umständen mehr den einen oder anderen nähern.

b) Erinnerungsnachbilder.

Bei Darstellung der Erinnerungsphänomene habe ich bisher mit Fleiss von einer Erzeugungsweise derselben abstrahirt, nach welcher sie sich auch solchen, die, wie Volkmann und ich, dieselben sonst nur äusserst schwach zu erzeugen vermögen, mit verhältnissmässig deutlichen Formen und Farben darstellen; eine Erzeugungsweise, welche einfach darin besteht, dass man das Erinnerungsbild sofort nach momentanem Anschauen eines Gegenstandes producirt. Personen freilich, welche sehr leicht Erin-

nerungsbilder produciren, finden keinen besonderen Vortheil von dieser frischen Erzeugungsweise derselben; denn Drobisch wie meine Frau erklärten, dass sie die ihnen geläufigen Erinnerungsbilder von nicht kurz vorher gesehenen Gegenständen mindestens eben so leicht und deutlich, als nach frischem kurzen Anschauen produciren könnten; hingegen ist bei mir wie bei Volkmann der Vortheil der frischen Anschauung sehr auffällig und wahrscheinlich eben so bei Jedem, der nur schwer deutliche Erinnerungsbilder producirt. Auch Hankel erkannte den Vortheil der frischen Erzeugung an und es scheint mir nicht ohne Interesse, etwas Näheres über die zum Theil eigenthümlichen Verhältnisse dieser auf frischer That erzeugten Erinnerungsbilder, die ich der Kürze halber Erinnerungsnachbilder nennen will, mitzutheilen. Ich gebe ihnen diesen Namen, weil sie gleich den Nachbildern sofort nach Anschauung der Objecte erfasst werden und sich ihnen in Deutlichkeit nähern, ja bei manchen Personen (Rüte) mit solchen zusammenzufallen scheinen, indess sie so, wie sie sich mir, Volkmann' und Hankeln darstellen, alle wesentlichen Charaktere der Erinnerungsbilder tragen.

Ich erhalte ein Erinnerungsnachbild, wenn ich irgend einen Gegenstand, hellen oder dunklen, farbigen oder nicht farbigen, momentan scharf anschaue, dann sofort die Augen schliesse oder wegwende, welches Letztere ich auch hier noch vortheilhafter als Ersteres finde, und sofort, am bessten noch während des Augenschliessens oder Wegwendens, die Erinnerungsthätigkeit in der sonst gewöhnlichen Weise in Kraft setze. Ich sehe dann das Bild einen Moment ziemlich deutlich mit der Zeichnung und selbst Farbe des angeschauten Objectes, wie ich es nie von Gegenständen, die ich vor längerer Zeit gesehen, zu erhalten vermag; nur verlöscht seine Bestimmtheit und Farbe sehr schnell und macht der gewöhnlichen Undeutlichkeit Platz.

Unstreitig wird man von vorn herein geneigt sein, hierin eben nichts als ein gewöhnliches von Nachdauer abhängiges Nachbild zu sehen, und ich selbst hegte nach den ersten oberflächlichen Versuchen diese Meinung. Aber es giebt vier Umstände, durch die sich bei mir ein solches Erinnerungsnachbild in gleich schlagender Weise von gewöhnlichen Nachbildern unterscheidet und den, nur schwächeren, eigentlichen Erinnerungsbildern, wie

ich sie sonst von früher gesehenen Gegenständen erhalte, gleichstellt.

1) Nachbilder entstehen, mag man die Aufmerksamkeit auf den Gegenstand gerichtet haben oder nicht (vergl. S. 432). Um hingegen ein Erinnerungnachbild zu erhalten, muss ich eben so wie um ein gewöhnliches Erinnerungsbild zu erhalten, die Aufmerksamkeit zuvor auf den betreffenden Gegenstand gerichtet haben. Je schärfer ich beim Betrachten die Aufmerksamkeit auf den Gegenstand zuspitze, desto deutlicher vermag mir nachher das Erinnerungsnachbild zu erscheinen; daher ich kein deutliches Erinnerungsnachbild von einer ganzen Gegend auf einmal zu erhalten vermag, sondern nur von begränzten Gegenständen, wie einem Menschen, einer Blume, wobei ich nichts von der Umgebung des Gegenstandes im Erinnerungsnachbilde reproduciren kann, wenn ich nicht beim Sehen die Aufmerksamkeit auf die nächste Umgebung mit erstreckt habe; wogegen sich im eigentlichen Nachbilde die Umgebung mit dem Gegenstande unwillkührlich darstellt, mag man sie mit gleicher Aufmerksamkeit betrachtet haben oder nicht.

2) Wenn ich nach momentanem Anschauen eines Gegenstandes in gewöhnlicher Tagesbeleuchtung die Aufmerksamkeit bei geschlossenen Augen auf das schwarze Sehfeld, oder bei offenen auf den objectiven Grund vor mir richte, und das, was ich da erblicke, blos receptiv aufnehmen will, was die Bedingungen sind, unter denen mir ein Nachbild zu erscheinen vermag, so sehe ich nichts, ich muss vielmehr, damit das Erinnerungsnachbild erscheine, die Aufmerksamkeit ganz eben so vom äusseren Sinne abwenden und das Bild innerlich activ hervorrufen wollen, wie wenn ich ein gewöhnliches Erinnerungsbild hervorrufen will. Auch sehe ich es um so deutlicher, je mehr ich die Erinnerungsthätigkeit in der sonst gewöhnlichen Weise anstrenge. Unwillkührlich spanne ich dabei die Kopfhaut, wie ich sonst bei angestrengtem Besinnen zu thun pflege (vergl. S. 491).

Ferner kann ich, wenn das Erinnerungsnachbild erloschen oder undeutlich geworden ist, was bemerktermassen schnell geschieht, dasselbe oft wiederholt, wenn schon mit abnehmender Deutlichkeit, neu beleben, wenn ich die immer bald von selbst nachlassende Erinnerungsthätigkeit eine neue Anstrengung machen lasse.

3) Während mir ein eigentliches Nachbild bis zu gewissen Gränzen um so deutlicher und intensiver erscheint, je länger und stetiger ich den Gegenstand fixirt habe, finde ich bei den Erinnerungsnachbildern merkwürdigerweise gerade das Gegentheil. Sie erscheinen mir am deutlichsten, wenn ich nur einen schnellen, aber möglichst aufmerksamen Blick auf den betreffenden Gegenstand geworfen habe, indem es mir scheint, als wenn bei einer längeren Betrachtung der Reiz für die Aufmerksamkeit, der zur Entstehung des Erinnerungsnachbildes nöthig ist, sich abstumpft, hingegen beim kürzesten am frischesten wirkt.

Hiemit mag es zusammenhängen, dass, wenn ich ein Erinnerungsnachbild z. B. von einem Menschen, der Holz hackt oder rasch vorschreitet, erwecke, es mir zwar in der Attitude eines sich bewegenden (also wie der Bildhauer den Menschen darstellen würde), aber doch nicht sich wirklich bewegend darstellt, indem der Moment der schärfsten Aufmerksamkeit bestimmend für die Erscheinung des Bildes scheint. Doch ist diese Erfahrung nicht ganz unzweideutig, weil der Blick auf den Gegenstand überhaupt bei mir nur kurz sein darf, soll ich das Erinnerungsnachbild deutlich erhalten, in welcher kurzen Zeit keine grosse Bewegung vollführt werden kann, eine volle Deutlichkeit des Bildes auch nicht stattfindet.

Gelegentlich kann man hiebei erinnern, dass auch, wenn die Scheibe des Thaumatrops, auf deren einer Seite z. B. ein Vogel, auf der anderen ein Käfig gemalt ist, mittelst des zwischen den Fingern gedrehten Axenfadens rasch um ihren Diameter rotirt, Käfig und Vogel dem Auge successiv in allen möglichen Verkürzungen dargeboten werden, doch aber der Vogel in dem Käfige zu sitzen scheint, als wenn von den unendlich vielen Erscheinungen blos eine einzige (die mir im Ganzen etwas verkürzt erscheint) zur Geltung käme. Diess hängt aber hier wohl davon ab, dass bei Bewegung durch die Lage, wo der Gesichtsstral senkrecht auf der Scheibe ist, die Erscheinung sich am langsamsten ändert.

4) Die Nachbilder, die ich von nicht selbst leuchtenden Gegenständen in der gewöhnlichen Tagesbeleuchtung erhalte, indem ich z. B. ein farbiges Object einige Zeit fixire, dann den Blick auf einen weissen Grund wende oder solchen vorschiebe, stellen mir das Object nicht in seiner eigenen, sondern der dazu complementären Farbe dar, indem die Nachdauer des primären Eindruckes zu kurz ist, um bemerkt zu werden, indess die Erinnerungsnach-

bilder das Object stets in seiner eigenen Farbe ohne complementären Nachklang wiedergeben.

Nach vorigen Unterschieden habe ich jedoch eines Punctes zu gedenken, worin sich das Erinnerungsnachbild dem eigentlichen Nachbilde auffällig anschliesst. Wenn das mit offenen Augen gesehene Erinnerungsnachbild bei mir erloschen ist, und ich die Intention, es zu sehen, immer in derselben Richtung forterhalte (was zum Erfolge wesentlich ist), ohne sie aber aufs Neue zu verstärken, so reicht ein momentaner Augenzuschlag hin, es momentan schwach wiederzubeleben, als wenn ich die Intention verstärkte; ein Versuch, den ich oft hinter einander wiederholen kann. Dass auch bei Nachbildern diess Mittel zur Wiederbelebung wirkt, habe ich in Pogg. XLIV. 528 angeführt; bei Erinnerungsbildern früher gesehener Gegenstände aber nützt mir der Augenzuschlag nichts zu ihrer Belebung. Es ist übrigens nicht die Verdunkelung des Gesichtsfeldes durch den Augenzuschlag, was bei den Erinnerungsnachbildern die Wiederbelebung bewirkt; denn ein plötzliches Augenaufreissen oder gewaltsames Seitwärtswenden der Augen leistet dasselbe, sondern unstreitig nur eine nach Innen sich fortpflanzende Anregung, die durch die Bewegung gegeben wird.

Volkmann, dem ich diese Erfahrungen über die Erinnerungsnachbilder mitgetheilt*), schreibt mir, er finde sie durchaus bestätigt; nur bemerkt er, dass ihm, entgegen der unter 4) gemachten Angabe bezüglich der gewöhnlichen (durch längere Fixation erhaltenen) Nachbilder, diese Anfangs, vor Uebergang in die Complementärfarbe, ebenfalls in der primären Farbe erschienen, und in der That kann diess je nach der Individualität verschieden sein.

Unter gewöhnlichen Umständen gewährt mir ein momentanes Anschauen eines Objectes angegebenermassen überhaupt kein Nachbild, d. h. ohne besondere Anspannung der Erinnerungsthätigkeit wahrnehmbares Bild. Auf folgende Weise jedoch gelingt es mir, nach momentanem Anblicke einer Farbe eine Nachfarbe ohne solche Anspannung so zu sagen zu ertappen, die aber auch der primären nicht gleich, sondern complementär dazu ist.

---

*) Mit Ausnahme dessen, was ich nach späteren Beobachtungen vorhin über den Erfolg des Augenzuschlages hinzugefügt.

Ich nehme eine inwendig schwarze Röhre vor ein Auge und richte diese auf einen farbigen Grund, neben welchem ein weisser Grund liegt. Ich schliesse erst eine Zeit lang beide Augen, öffne dann das Auge, vor dem sich die Röhre befindet, so dass mir der Farbengrund momentan ins Auge fällt und wende sofort die Röhre auf den weissen Grund. Bei der grossen Empfindlichkeit, die ich für subjective Phänomene habe, sehe ich, trotzdem dass ich den objectiven Farbengrund nur momentan gesehen hatte, doch momentan auf dem weissen Grunde die Nachfarbe dieses Grundes; aber sie ist stets complementär dazu.

Inzwischen kann ich doch nicht umhin, zu bemerken, dass ich sehr gut die Erscheinung des Thaumatropes in den Farben der darauf gemalten Bilder wahrnehme, was nur vermöge einfacher Nachdauer des Eindruckes der Fall sein kann. Aber die Umstände sind hier andere als bei Erzeugung des Erinnerungsnachbildes. Die beiden Bilder auf Vorderseite und Kehrseite der Scheibe treten beim Thaumatrop in schnellstem Wechsel oft wiederholt vor das Auge, so dass sich die Eindrücke summiren können; indess das Erinnerungsnachbild mittelst eines einzigen Blickes gewonnen wird.

Bei alle dem glaube ich selbst, mit Rücksicht auf die unter *e*) hinzuzufügenden allgemeinen Erörterungen, dass mein Erinnerungsnachbild nur vermöge einer unmittelbaren Fortsetzung der, dem gewöhnlichen Nachbilde unterliegenden, Thätigkeit in das Feld der Vorstellungsbilder hinein zu Stande kommt, wo es noch durch Erinnerungsthätigkeit von mir ergriffen werden kann; nachdem es schon im Anschauungsfelde erloschen ist, während beim Versuche mit dem Thaumatrop das um einen Moment vorausgegangene Bild sich mit dem folgenden noch im Anschauungsfelde selbst zusammensetzt.

Ist dem so, so kann es nicht unerwartet sein, wenn dasselbe Phänomen, was sich bei mir nach seinen Hauptmomenten als Erinnerungsbild verhält, bei einem Anderen vielmehr als Nachbild verhält. So scheint es bei Prof. Rüte der Fall zu sein, der überhaupt sehr leicht deutliche Nachbilder erhält, aber auch leicht gewöhnliche deutliche Erinnerungsbilder producirt, und aus dessen mir gemachten Angaben ich Folgendes entnehme: wenn er einen Gegenstand auch nur momentan ins Auge gefasst hat, erscheint ihm ebenfalls derselbe momentan aufs Deutlichste in seiner ur-

sprünglichen Farbe und Gestalt und verlöscht schnell; aber er bedarf keiner willkührlichen Anstrengung der Aufmerksamkeit dazu; sondern, so wie er die Augen schliesst oder den Blick abwendet, erscheint ihm das Nachbild, er mag wollen oder nicht, und geht beim Verlöschen aus dem Positiven in das Negative über, trägt also alle Charaktere der gewöhnlichen Nachbilder. Er findet diess eben so bestimmt, als ich meinerseits es bestimmt nöthig finde, die Erinnerungsthätigkeit besonders in der sonst gewohnten Weise zu Hülfe zu nehmen, um das Erinnerungsnachbild zu sehen. Auch die Helmholtz'sche Erzeugungsweise lebhafter positiver Nachbilder*) mittelst momentanen Anschauens eines Gegenstandes, nachdem zuvor die Augen längere Zeit geschlossen wurden, über die mir keine hinreichenden eigenen Erfahrungen zu Gebote stehen, giebt nach Helmholtz's Darstellung das Phänomen ohne besondere Anspannung der Erinnerungsthätigkeit. Gerade durch diese Verschiedenheiten aber scheint mir das Erinnerungsnachbild sein besonderes Interesse zu gewinnen, indem sich hiemit besonders deutlich zeigt, wie dasselbe Phänomen je nach Individualität und Umständen zwischen dem Charakter des Erinnerungsbildes und Nachbildes schwanken kann.

Nachdem das Vorige schon vollständig niedergeschrieben war, ward ich erst aufmerksam auf eine Stelle in Purkinje's Beitr. zum subjectiven Sehen S. 166, welche beweist, dass er die Erinnerungsnachbilder mit ähnlichen Charakteren als ich schon früher beobachtet hat; indem er sie aber unter dem blossen Namen Nachbilder den von Nachdauer des Sinneseindruckes abhängigen Blendungsbildern (die ich unter den Nachbildern begriffen habe) entgegensetzt. Da seine Angaben sich mit den obigen theils wechselseits bestätigen, theils ergänzen, lasse ich sie wörtlich hier folgen: »Oft wunderte ich mich, dass das Blinzen der Augen das Sehen nicht störe, indem ich mir vorstellte, dass während demselben eine gänzliche Finsterniss eintreten müsste. Bei näherer Beobachtung fand ich aber, dass das Gesichtsfeld des offenen Auges mit allen seinen Lichtern und Bildern noch eine kurze Zeit vor dem Sinne verharre, nachdem die Augenlider geschlossen worden. Je aufmerksamer ich ein einfaches, nicht zu sehr ausgedehntes, Bild auffasse, desto länger vermag ich es bei geschlossenen Augen vor dem Sinne festzuhalten. Dieses Nachbild ist genau von dem Blendungsbilde zu unterscheiden. Das Nachbild wird nur durch freie Thätigkeit längere Zeit festgehalten, und verschwindet, sobald der Wille nachlässt, kann aber von demselben wieder hervorgerufen werden; das Blendungsbild schwebt unwillkühr-

*) Amtl. Bericht über die 34. Versamml. der deutschen Naturforscher in Karlsruhe. S. 225.

lich dem Sinne vor, verschwindet und erscheint wieder aus objectiven Gründen.«

»Die topisirende Thätigkeit des Sinnes, der Tastsinn des Auges, fährt fort das Nachbild ausserhalb des Organes zu setzen, eben so, wie es beim wirklichen Sehen stattfand, auch stereometrisch begränzte Bilder kann es darstellen, und selbst beim Bewegen und Drehen des ganzen Körpers behauptet das Nachbild seine ursprüngliche Stelle und Lage. Das Blendungsbild hingegen stellt nur Flächen dar, hat seinen Ort nur im Auge und folgt dessen Bewegungen. Die Lebhaftigkeit des Nachbildes ist nach Verschiedenheit der Stimmungen verschieden. Besonders lebhaft ist es bei erhöhter Seelenthätigkeit nach Genuss geistiger Getränke oder narkotischer Substanzen, oder bei besonderem Interesse am Gegenstande; bei fieberhafter Aufregung des Blutes, besonders bei Hirnaffectionen ist es oft bis zu einer unvertilgbaren Objectivität gesteigert. Das Blendungsbild hingegen pflegt bei nervöser Stimmung, im asthenischen Zustande länger nachzuhalten und verschwindet desto schneller, je energischer das Organ vom Leben durchströmt wird. Ferner ist das Nachbild desto deutlicher und objectiver, je näher es dem Momente der Auffassung des Urbildes steht, und in jedem folgenden Momente wird es immer schwerer, dasselbe in gleicher Klarheit vor dem Sinne zu erhalten. Das Blendungsbild hingegen von mild leuchtenden Gegenständen ist in den ersten Momenten nach dem Anschauen verwirrt und bildet sich erst nach und nach vollkommen vor dem Sinne aus, der dabei nur einen passiven Zuschauer abgiebt.«

c) Erscheinungen des Sinnengedächtnisses und Reactionserscheinungen nach Anschauung von Bewegungen.

Wenn die Erinnerungsnachbilder in der Gestalt, wie sie sich mir darstellen, ein Uebergangsglied zwischen Erinnerungsbildern und Nachbildern darstellen, welches sich vielmehr den ersten als letzten anschliesst, so bieten hingegen die Phantome des sogenannten Sinnengedächtnisses ein anderes Uebergangsglied dar, welches sich umgekehrt vielmehr den Nachbildern als Erinnerungsbildern anschliesst. Sie fodern nämlich die Richtung der Aufmerksamkeit auf das schwarze Sehfeld, um aufgefasst zu werden, und sind keine Sache willkührlicher Erzeugung und Abänderung, wie die Erinnerungs- und Phantasiebilder; stellen sich jedoch nicht blos als Nachklänge eben vorübergegangener Sinneseindrücke im unmittelbaren Gefolge derselben wie die Nachbilder dar, sondern kehren freiwillig im Dunkeln wieder, nachdem das Auge inzwischen lange mit anderen Eindrücken im Hellen beschäftigt war, und reproduciren nicht blos den Eindruck ruhender Objecte, sondern auch von Bewegungen.

Naturforscher haben häufig Gelegenheit, Erfahrungen, welche hieher gehören, zu machen, obwohl solche nicht oft beschrieben sind*). Die früheste mir bekannte Schilderung darüber rührt von Henle**) her. Er erzählt, dass sich ihm, als er Vormittags Stunden lang an einem Arterien- und Nervenpräparate gearbeitet hatte, spät am Abend, in der Dunkelheit und beim Reiben des Auges oder bei Congestion nach demselben während des Hustens, Schnäuzens u. s. w. plötzlich das leuchtende Bild jenes Präparates in allen seinen Einzelnheiten unter Umständen gezeigt habe, wo sonst vielleicht ein Blitz das Sehfeld rasch erleuchtet haben würde. Die Erscheinung war momentan und unwillkührlich und konnte auch absichtlich nicht wieder hervorgerufen werden. Desgleichen erschienen ihm zu anderer Zeit, wo er mehrere Tage anhaltend die flimmernden Schläuche der Branchiobdella untersucht hatte, Abends unter dem Wirrwarr von Fäden, die dem ruhigen Auge vorschweben, auch wieder die flimmernden Streifen, leuchtend, scharf begränzt und mit derselben lebhaft rieselnden Bewegung, wie sie ihm das Mikroskop gezeigt hatte. (Casper's Wochenschr. 1838. No. XVIII.)

Aehnliche (obwohl in einigen Punkten modificirte) Erfahrungen habe ich selbst wiederholt gemacht, besonders auffallend in einer Zeit, wo meine Augen und mein ganzes Nervensystem an einer krankhaften Reizbarkeit litt, die später in mehrjährige Lichtscheu ausschlug.

Ich entnehme meinen Aufzeichnungen darüber Folgendes:

Als ich die physikalische Professur in Leipzig noch verwaltete, wurden im physikalischen Cabinete daselbst magnetische Intensitätsbeobachtungen mit dem Gauss'schen Apparate angestellt, wobei man einen schwarzen Faden im Fernrohre über einer weissen Skala mit schwarzen Theilstrichen und Gradzahlen wandern sieht und zugleich auf den Schlag des Secundenzählers Acht giebt. Wenn ich diese Beobachtungen während zweier Stunden hindurch angestellt hatte, so brauchte ich nachher nur die Augen zu schliessen oder auch offen ins Dunkel zu richten, so sah ich den schwarzen Faden sammt der weissen Skala mit den schwarzen Theilstrichen

*) Rüte sagt mir z. B., dass ihm die Phantome des Sinnengedächtnisses nach vorgängigen Beobachtungen oft bis zum Lästigwerden namentlich Abends im Bette vorgekommen sind.

**) Casper's Wochenschr. 1838. No. XVIII.

und Zahlen ganz von selbst im Gesichtsfelde auftauchen, und zwar den Faden in derselben ruhig wandernden Bewegung über der Skala, die er bei der Beobachtung hatte. Diess habe ich zu sehr oft wiederholten malen nach sämmtlichen in jene Zeit fallenden Beobachtungsterminen erfahren. Theilstriche und Faden waren gut unterscheidbar (wenn schon bei Weitem nicht so deutlich als in der Wirklichkeit), die Zahlen jedoch nie so deutlich, um ihren Werth zu erkennen. Leuchtend habe ich die Züge nie gesehen. Selbst noch 24 Stunden nach einer solchen Beobachtungsreihe wiederholte sich das Phänomen bei jedem Schlusse der Augen, ohne dass ich es irgend durch Aufmerksamkeit hervorgelockt hätte. Es war nicht blos momentan, aber auch nicht stetig dauernd, sondern wurde abwechselnd vom Dunkel verschlungen, um wieder aufzutauchen, ohne dass ich diess irgendwie in meiner Gewalt hatte.

Ein ganz ähnliches Phänomen erfuhr ich im Zusammenhange mit dem vorigen am Gehöre. Wenn ich nach einer solchen Beobachtungsreihe Abends im Bette lag, und selbst noch am anderen Morgen, wenn Alles ganz still war, hörte ich auf das allerdeutlichste (fortgehends) den Schlag des Secundenzählers mit seinem eigenthümlichen Takte, etwa so, als wenn eine Pendeluhr im Nebenzimmer gienge, so dass ich mich besonders überzeugen musste, dass keine derartige äussere Ursache wirklich vorhanden sei.

In derselben Zeit stellte ich oft anhaltend Beobachtungen am Multiplicator an, wobei es galt, die über einer Kreiseintheilung spielende Nadel mit Aufmerksamkeit zu verfolgen; auch dieses Bild mit der Bewegung der Nadel habe ich unter ähnlichen Umständen als vorhin sich oft reproduciren sehen.

Auch noch nach Wiederherstellung von meiner Lichtscheu haben sich ähnliche Phänomene oft bei mir wiederholt, und kehren noch heutzutage, wenn schon seltener als früher, gelegentlich nach anhaltenden Beschäftigungen, wo es gilt, oft mit den Augen zu denselben Gegenständen zurückzukehren, wieder*). Besonderes Interesse aber scheint mir folgende Beobachtung zu haben, sofern sie zeigt, dass für das Sinnengedächtniss eben so wie für das gewöhnliche Erinnerungsvermögen die Bedingungen ganz verschiedener Bilder ohne wesentliche Störung coexistiren können.

---

*) Noch einige Beispiele in dieser Hinsicht s. in meinem Centralbl. f. Naturwiss. 1853. S. 777. 780.

Den 21. Febr. 1847 sahe ich nach Tische längere Zeit dem Spiele mit einer Anzahl grosser sogen. Firle (Borle, Tirltanze, d. i. Scheiben mit einem Stifte durch die Mitte, welche nach Art eines Kreisels in rasche Drehung auf der Spitze des Stiftes versetzt werden) zu, welches zur Unterhaltung von Anderen getrieben wurde, und nahm selbst gelegentlich Theil. Den grösseren Theil des übrigen Nachmittags und selbst Abends bis nach 11 Uhr beschäftigte ich mich damit, aus mehreren in Zahlen ausgedrückten Beobachtungsreihen die Mittel zu ziehen. Als ich mich endlich zu Bette legte, tauchten alsbald sowohl bei geschlossenen als auch offenen Augen in der dunkeln Kammer ganze Zahlenreihen, von der Form derer, mit denen ich zu thun gehabt hatte, schwarz im dämmerigen Grunde des Gesichtsfeldes auf, so dass ich sie recht wohl lesen konnte, wenn gleich sie nie grosse Schärfe und Deutlichkeit hatten. Das Phänomen war ebenfalls nicht fix, sondern wurde immer bald vom Dunkel verschlungen, um dann einer anderen Zahlenreihe Platz zu machen. Die Aufmerksamkeit hatte auch hier gar keinen Einfluss; und obwohl mir die Rechnungen noch im Kopfe herumgingen, hatten doch die auftauchenden Zahlenreihen keinen Bezug dazu, hatten durchaus den Charakter von etwas Gesehenem, nicht Gedachtem. Das Merkwürdige aber war diess, dass mitunter auch statt der Zahlenphantasmen das Phantasma eines sich drehenden Firls eintrat, ungeachtet ich, lebhaft mit den Rechnungen beschäftigt, gar nicht mehr an jenen gleichgültigen Zeitvertreib während des Nachmittags oder Abends gedacht hatte oder jetzt dachte; ausser sofern mich jetzt die Erscheinung unwillkührlich daran erinnerte. Bald war es dieser, bald jener Firl (sie hatten verschiedene Grösse und Form), der im Gesichtsfelde auftauchte, sich drehte und umfiel, wie es in der Wirklichkeit gewesen. Die Erscheinung war unzweideutig, obwohl schwächer als das Zahlenphantasma. Diese Abwechselung der Phantasmen, von denen jedoch die Zahlenphantasmen viel öfter erschienen, dauerte über eine Stunde, bis ich einschlief.

Mit Rücksicht auf die Henle'schen Erfahrungen habe ich sehr oft versucht, durch rasches Schütteln des Kopfes oder rasches Zukneipen der Augenlider oder sonst starke absichtliche Erschütterung des Kopfes oder Körpers, diese unwillkührlich im Gesichtsfelde auftauchenden und wieder schwindenden Erscheinungen willkührlich hervorzurufen in Zeiten, wo sie nach anhaltender

Beschäftigung mit feinen Gegenständen wiederholt von selbst eintraten; es ist mir aber nie gelungen. Eben so wenig leisteten absichtliche leise Erschütterungen. Dennoch möchte ich einen Einfluss der Erschütterung nicht ganz leugnen, ohne ihn aber bestimmt fixiren zu können. Es hat mir doch geschienen, dass die betreffenden Phänomene vorzugsweise leicht bei gelegentlichem Zuschlagen der Augenlider, öfters bei einem leisen unwillkührlichen Zwinkern derselben eintraten, ohne dass ich aber durch willkührliches Nachthun dasselbe wieder erreichen konnte. Auch erinnert man sich hiebei der S. 495 bei den Erinnerungsnachbildern erwähnten Erfahrungen.

Es wäre erwünscht, wenn die Erscheinungen des Sinnengedächtnisses namentlich bezüglich der Reproduction von Bewegungen von der zufälligen Beobachtung zum Versuche erhoben würden. Nach dem, was man gelegentlich beobachtet hat, kann es nicht unwahrscheinlich scheinen, dass man bei angemessener Versuchsweise auch das unmittelbar nach der Beobachtung erhaltene Nachbild bewegter Gegenstände gesetzlich bewegt sehen würde; ja für eine gewisse Form von Bewegungen ist die Frage schon entschieden. Wo freilich die Bewegung so schnell geschieht, dass die Nachdauer des Eindruckes den beschriebenen Weg als einen mit dem Gesichtseindrucke continuirlich erfüllten erscheinen lässt, wie bei dem elektrischen Funken, der rasch geschwungenen glühenden Kohle, nimmt natürlich auch das Nachbild diese Gestalt an; wenn anderseits das Auge einem sich langsam bewegenden Gegenstande so mit eigener Bewegung folgt, dass es denselben beständig fixirt hält, wie es uns natürlich ist, stimmt eben so natürlich die Erscheinung des Nachbildes mit der eines ruhenden Körpers überein. Aber es giebt noch einen dritten Fall, der zu untersuchen ist, dass man nämlich das objective Bild langsam über die Netzhaut wandern lässt. Nur wird man, weil jede Stelle der Netzhaut dann nur einen kurzen Eindruck empfängt, die Bewegung oft wiederholt, oder mit sehr starkem Lichteindrucke vorzunehmen oder Beides zu vereinigen haben. Hiebei sind als die einfachsten Fälle folgende zwei zu unterscheiden: 1) dass die objective Bewegung immer in derselben Richtung geht, 2) dass sie pendulirend hin- und hergeht. Für den ersten Fall lehren die folgenden Thatsachen, dass die objective Bewegung sich subjectiv in der entgegengesetzten Richtung reproducirt; für den zweiten Fall

lassen die angeführten Thatsachen des Sinnengedächtnisses vermuthen, dass sich die pendulirende Bewegung subjectiv wiederholen würde.

Beispiele des ersten Falles, die sich leicht im gewöhnlichen Leben darbieten, sind, dass die Gegenstände am Wege, welche während des Fahrens sich neben dem Wagen zu bewegen scheinen, im Augenblicke des Anhaltens eine entgegengesetzte Bewegung anzunehmen scheinen, und dass, wenn man von einer anhaltend betrachteten Stromschnelle den Blick auf den Sand und die Steinchen am Wege wendet, sich diese im entgegengesetzten Sinne der Wasserbewegung zu bewegen scheinen. Speciellere Beobachtungen über dieses Phänomen sind einerseits von Plateau*), anderseits von Oppel**) angestellt, und das Merkwürdige, dass die Richtung der Bewegung in der subjectiven Nacherscheinung der objectiv angeschauten entgegengesetzt ist, mit der Entstehung complementärer Nachbilder verglichen worden. Oppel, der die Erscheinung besonders sorgfältig untersucht und selbst einen Apparat zur sicheren Hervorbringung angegeben hat, stellt folgende 6 Bedingungen als zum sicheren Gelingen des Versuches unerlässlich heraus.

»1) Die betrachtete Bewegung muss gleichmässig und in gleicher Richtung andauern.

2) Sie muss im Ganzen eine ziemlich schnelle, darf jedoch nicht so rasch sein, dass sie dem Auge das Unterscheiden der einzelnen bewegten Puncte unmöglich macht; — was natürlich nicht von der absoluten, sondern nur von der Winkelgeschwindigkeit in Bezug auf die Stellung des Auges, also auch namentlich von der Entfernung der letzteren von dem bewegten Gegenstande abhängt.

3) Sie muss eine gute Weile, — d. h. durchschnittlich wohl eine Minute lang, im Allgemeinen bis beinahe zur Ermüdung des Auges (welche Dauer freilich für verschiedene Augen ziemlich verschieden sein wird) betrachtet werden.

4) Das Auge muss dabei, so wie beim darauf folgenden Fixiren eines ruhenden Bildes, selbst in (relativer) Ruhe, und

---

*) Pogg. LXXX. 287.

**) Pogg. XCIX. 540.

darf namentlich nicht durch zufällige Bewegungen des Körpers oder Kopfes unregelmässig erschüttert sein.

5) Der zu fixirende ruhige Gegenstand muss eine durch Abwechselung der Farben oder der Schattirung seiner Theile mannichfach modificirte Oberfläche darbieten.

6) Sowohl beim Betrachten des bewegten wie des ruhenden Bildes muss das Auge unverrückt einen bestimmten Punct fixiren, und darf sich also namentlich nicht verleiten lassen, im ersteren Falle der Bewegung mehr oder minder zu folgen, oder den Umrissen des bewegten Bildes entlang hin und her zu schweifen.«

Ueber den zweiten, nach S. 502 in Betracht zu ziehenden, Fall fehlt es noch ganz an Versuchen. Ganz beiläufig schob ich einen Fleck weissen Papieres auf schwarzem Grunde vor dem fixirten Auge wiederholt hin und her; aber ungeachtet ich sehr leicht Nachbilder und Erscheinungen des Sinnengedächtnisses habe, erhielt ich doch kein Resultat; es erschien Nichts. Eben so wenig konnte ich mittelst stroboskopischer Scheiben ein Resultat erhalten. Die Versuche aber längere Zeit mit starken pendulirenden Lichteindrücken und unter erfoderlichen Abänderungen anzustellen, wo sich wahrscheinlich ein Resultat erhalten lassen würde, verbietet mir der Zustand meiner Augen, da diese Versuche nicht anders als sehr anstrengend werden können.

d) Unwillkührliche Hallucinationen und Illusionen*).

Unter Hallucinationen versteht man überhaupt Täu-

---

*) Die Literatur über Hallucinationen und Illusionen ist sehr gross, und hier nicht zu erschöpfen. Ich begnüge mich, die mir bekannt gewordenen neuen Schriften, welche vorzugsweise darauf Bezug nehmen, anzuführen, von denen ich jedoch 4, 6 und 7 nur nach den Titeln kenne. Uebrigens handeln nicht nur alle Werke über Geisteskrankheiten u. A. auch von den Hallucinationen, sondern ausserdem unzählige Abhandlungen und Berichte einzelner Fälle:

1) Hibbert, Andeutungen zur Theorie der Geistererscheinungen, a. d. Engl. Weimar 1825. — 2) J. Müller, über die phantastischen Gesichtserscheinungen. Coblenz 1826. — 3) Hagen, über Sinnestäuschungen. 1837. — 4) Griesinger, die Pathologie und Therapie der psychischen Krankheiten. Stuttg. 1845. — 5) Moreau, du Hachisch et de l'aliénation mentale. Paris 1845. — 6) Michéa, du délire des sensations. Paris 1846. — 7) Szaf-

schungen, die ganz oder beinahe den Charakter von Aussen erweckter Sinneswahrnehmungen für den Getäuschten annehmen, ohne dass in der äusseren Wirklichkeit etwas zu ihrer Anregung vorhanden ist. Eine scharfe Abgränzung derselben von den zu höchster Lebhaftigkeit gesteigerten Erinnerungs- und Phantasiebildern einerseits, den Erscheinungen des Sinnengedächtnisses anderseits wird sich nicht ziehen lassen; doch sind viele Hallucinationen keine Sache willkührlicher Erzeugung wie die Phantasiebilder und willkührlich zurückgerufenen Erinnerungsbilder, und viele reproduciren nicht sklavisch früher gehabte Sinneserscheinungen, wie die Erscheinungen des Sinnengedächtnisses. Von diesen noch nicht behandelten Formen wird daher vorzugsweise im Folgenden die Rede sein*). Unter Illusionen werden von Manchen Sinnestäuschungen jeder Art verstanden, indess Andere, so wie es hier geschehen mag, Illusionen und Hallucinationen insofern unterscheiden, als sie unter Illusionen Täuschungen verstehen, wozu allerdings ursächliche Objecte vorhanden sind, welche aber falsch aufgefasst werden, indess es bei den Hallucinationen an äusseren ursächlichen Objecten der Erscheinung überhaupt fehlt. So ist es ein Beispiel einer Illusion, wenn man einen Gegenstand, der wirklich da ist, mit falscher Farbe oder verzerrten Zügen sieht, dagegen einer Hallucination, wenn man einen Gegenstand sieht, der gar nicht da ist.

Einfache Fälle der Hallucinationen sind Funken vor den Augen, Ohrenklingen, wie sie so häufig bei Congestivzuständen nach den betreffenden Sinnesorganen vorkommen; aber auch gestaltete Phänomene, wie menschliche Figuren, Reden können durch Hallucinationen in die Erscheinung treten. Hieher gehören die Phantasien vieler Fieberkranken und Wahnsinnigen, die Erscheinungen des Alpdrückens, die Hallucinationen nach dem Genusse narko-

---

kowski, Recherches sur les Hallucinations. Montpellier 1849. — 8) Brierre de Boismont, des Hallucinations. Paris 1852. — 9) Leubuscher, über die Entstehung der Sinnestäuschungen. Berlin 1852.

*) Es wäre erwünscht, die, abgesehen von der Entstehungsweise einander so sehr gleichenden, willkührlich erzeugten Phantasmen, von denen im Abschnitte *a*) S. 484 ff. im Anschlusse an die Erinnerungsbilder die Rede war, und die unwillkührlich entstehenden Phantasmen, von welchen folgends die Rede sein wird, durch bezeichnende Namen unterscheiden zu können, doch haben mir keine recht passenden beifallen wollen.

tischer Substanzen, die Phantasmen, die viele Personen vor dem Einschlafen haben. Aber auch bei geistig gesunden Personen, im vollen Wachen, bei offenen Augen können unter Umständen sehr entwickelte Hallucinationen vorkommen, ja die Anzahl merkwürdiger Fälle der Art, welche berichtet worden sind, ist sehr gross. Zu den zugleich glaubwürdigsten, interessantesten, instructivsten und ausführlichst beschriebenen Fällen dieser Art, mit dessen Physiognomie die sehr vielen anderen Fälle übereinstimmt, gehört der Fall des ehemals berühmten Buchhändlers und Schriftstellers Nicolai, von ihm selbst in der Berliner Monatsschr. 1799. Mai und im ersten Bande seiner philos. Abhandl. S. 58 ff. beschrieben, auch in Hibbert's Schrift reproducirt, dessen specielle Wiedergabe jedoch die hier zu steckenden Gränzen zu sehr überschreiten würde.

Auch scheint mir, dass zum Anschlusse an die unter *a*) beschriebenen Phänomene vor solchen auffälligen Hallucinationsformen, wie sie der Nicolai'sche Fall darbietet und welche unstreitig immer mit körperlichen Krankheitszuständen zusammenhängen, die bei gutem Gesundheitszustande von so Vielen zu beobachtenden Hallucinationen vor dem Einschlafen*) eine vorzugsweise Beachtung verdienen, in Bezug auf welche ich nichts Besseres glaube thun zu können, als die so schöne auf Selbstbeobachtung gegründete Beschreibung von J. Müller aus seiner Schrift über Gesichtsphantasmen nach ihrem Wesentlichsten zu reproduciren.

§. 34. »Es ist selten, dass ich nicht vor dem Einschlafen bei geschlossenen Augen in der Dunkelheit des Sehfeldes mannichfache leuchtende Bilder sehe. Von früher Jugend auf erinnere ich mich dieser Erscheinungen; ich wusste sie immer wohl von den eigentlichen Traumbildern zu unterscheiden; denn ich konnte oft lange Zeit noch vor dem Einschlafen über sie reflectiren. Vielfache Selbstbeobachtung hat mich denn auch in den Stand gesetzt, ihre Erscheinung zu befödern, sie festzuhalten.... Wenn ich diese leuchtenden Bilder beobachten will, sehe ich bei geschlossenen, vollkommen ausruhenden Augen in die Dunkelheit des Sehfeldes; mit einem Gefühle der Abspannung und grösster Ruhe in den Augenmuskeln versenke ich

---

*) Sie sind näher u. a. von Nasse in s. Zeitschr. f. Anthropol. 1825. 3. S. 166 ff., und wesentlich übereinstimmend damit von J. Müller in s. Schrift »Ueber die phantastischen Gesichtserscheinungen« 1826. S. 20 ff. beschrieben; so viel ich mich erinnere auch in einigen Abhandlungen von Maury und von Baillarger in den Ann. méd. psychol., deren Stelle ich nicht mehr angeben kann, und unstreitig noch mehrfach sonst.

mich ganz in die sinnliche Ruhe des Auges oder in die Dunkelheit des Sehfeldes. Allen Gedanken, allem Urtheile wehre ich ab, ich will bei einer vollkommenen Ruhe des Auges wie des ganzen Organismus in Hinsicht der äusseren Eindrücke nur beobachten, was in der Dunkelheit des Auges als Reflex von inneren organischen Zuständen in anderen Theilen erscheinen wird.

§. 35. »Wenn nun im Anfange immer noch das dunkle Sehfeld von einzelnen Lichtflecken, Nebeln, wandelnden und wechselnden Farben reich ist, so erscheinen statt dieser bald begränzte Bilder von mannichfachen Gegenständen, anfangs in einem matten Schimmer, bald deutlicher. Dass sie wirklich leuchtend und manchmal auch farbig sind, daran ist kein Zweifel. Sie bewegen sich, verwandeln sich, entstehen manchmal ganz zu den Seiten des Sehfeldes mit einer Lebendigkeit und Deutlichkeit des Bildes, wie wir sonst nie so deutlich etwas zur Seite des Sehfeldes sehen. Mit der leisesten Bewegung der Augen sind sie gewöhnlich verschwunden, auch die Reflexion verscheucht sie auf der Stelle. Es sind selten bekannte Gestalten, gewöhnlich sonderbare Figuren, Menschen, Thiere, die ich nie gesehen, erleuchtete Räume, in denen ich noch nicht gewesen. Es ist nicht der geringste Zusammenhang dieser Erscheinungen mit dem, was ich am Tage erlebt, zu erkennen. Ich verfolge diese Erscheinungen oft halbe Stunden lang, bis sie endlich in die Traumbilder des Schlafes übergehen.

§. 36. »Nicht in der Nacht allein, zu jeder Zeit des Tages bin ich dieser Erscheinungen fähig. Gar manche Stunde der Ruhe, vom Schlafe weit entfernt, hab' ich mit geschlossenen Augen zu ihrer Beobachtung zugebracht. Ich brauche mich oft nur hinzusetzen, die Augen zu schliessen, von Allem zu abstrahiren, so erscheinen unwillkührlich diese seit früher Jugend mir freundlich gewohnten Bilder. Ist nur der Ort recht dunkel, bin ich nur geistig ganz ruhig, ohne leidenschaftliche Stimmung, hab' ich nur eben nicht gegessen oder geistiges Getränk genommen, so darf ich, wenn gleich an Schlaf gar nicht zu denken ist, der Erscheinung gewiss sein.

§. 37. »Häufig erscheint das lichte Bild im dunkeln Sehfelde, häufig auch erhellt sich vor dem Erscheinen der einzelnen Bilder nach und nach die Dunkelheit des Sehfeldes zu einer Art von innerem matten Dämmerlichte. Gleich darauf erscheinen dann auch die Bilder....

§. 39. »Ich kann es auf das Bestimmteste unterscheiden, in welchem Momente das Phantasma leuchtend wird. Ich sitze lange da mit geschlossenen Augen; Alles, was ich mir einbilden will, ist blosse Vorstellung, vorgestellte Begränzung im dunkeln Sehfelde, es leuchtet nicht, es bewegt sich nicht organisch im Sehfelde, auf einmal tritt der Moment der Sympathie zwischen dem Phantastischen und dem Lichtnerven ein, urplötzlich stehen Gestalten leuchtend da, ohne alle Anregung durch die Vorstellung. Die Erscheinung ist urplötzlich, sie ist nie zuerst eingebildet, vorgestellt und dann leuchtend. Ich sehe nicht, was ich sehen möchte; ich kann mir nur gefallen lassen, was ich ohne alle Anregung leuchtend sehen muss.

§. 40. ...»Ich kann stundenlang mir einbilden und vorstellen, wenn die Disposition zur leuchtenden Erscheinung nicht da ist, nie wird dieses zuerst

Vorgestellte den Schein der Lebendigkeit erhalten. Und urplötzlich erscheint ein Lichtes, nicht zuerst Vorgestelltes gegen meinen Willen, ohne alle erkennbare Association....

§. 41. »Am leichtesten treten diese Phänomene ein, wenn ich ganz wohl bin, wenn keine besondere Erregung in irgend einem Theile des Organismus geistig oder physisch obwaltet, und besonders wenn ich gefastet habe. Durch Fasten kann ich diese Phänomene zu einer wunderbaren Lebendigkeit bringen. Nie habe ich sie bemerkt, wenn ich Wein vorher getrunken hatte....

§. 66. »Nie habe ich bei geschlossenen Augen bewirken können, dass sich die phantastischen Bilder mit den Augen wie die Blendungsbilder bewegten.

§. 147. »So leicht bei mir die Phantasiebilder unwillkührlich eintreten, so habe ich doch bei der grössten Anstrengung fast nie willkührlich ein bestimmtes Phantasma von bestimmter Beleuchtung und Färbung erzeugen können. Ich habe halbe Tage in dieser Willensübung im Dunkeln zugebracht. Die Phantasiebilder waren immer ein dem Willen trotzendes Phantastisches, was ich nicht hervorzurufen, nicht festzuhalten vermochte. So leicht ich subjective Farben sehe, nie vermochte ich mit Willen ein Roth, ein Blau ins Sehfeld zu bannen und zu fixiren«....

§. 87. »Die Traumbilder sind nichts Anderes als die leuchtenden Phantasmen, welche bei geschlossenen Augen in der Sehsinnsubstanz erscheinen. In der Regel bestehen sie mit Anerkennung ihrer Objectivität, oft auch mit dem Bewusstsein, dass nur Traumbilder gesehen werden. Im letzteren Falle sind die Traumbilder gar nicht von den Phantasiebildern vor dem Einschlafen verschieden. In den Selbstbeobachtungen vor dem Einschlafen habe ich mich häufig über dem Anfange des wirklichen Traumes überrascht. Der wirkliche Traum, mit Einschläfern der Reflexion und Anerkennung der Objectivität der Phantasiebilder, tritt am leichtesten und unmittelbarsten dann ein, wenn an die Stelle der Dunkelheit nach und nach die innere subjective Erhellung des Sehfeldes getreten ist.« (Es folgt im Originale noch eine etwas ausgeführtere Schilderung hierüber.)

Was die Hallucinationen anlangt, die mit Krankheitszuständen in Beziehung stehen, so tragen diese im Allgemeinen den Charakter von Aufregungen des Nervensystemes und Gefässsystemes, und vielleicht liegen ihnen immer Congestivzustände im Gehirne zu Grunde. Diess spricht sich theils in ihren ursächlichen Momenten, theils begleitenden Symptomen, theils Heilmitteln aus. Ich erinnere, abgesehen von Nicolai's Fall, der hiezu sowohl in Betreff der ursächlichen Entstehung als Heilung einen Beleg liefert, an ihr habituelles Vorkommen in Fiebern, bei manchen Arten Wahnsinn, wie dem Säuferwahnsinne (bei dem man häufig eine Ueberfüllung des Gehirnes mit venösem Blute nach dem Tode findet), nach dem Genusse von Narcoticis, durch welche der Puls ausseror–

dentlich gesteigert werden kann u. s. w. Leuret und Metivié*) fanden nach zahlreichen Beobachtungen in der Salpetrière, dass unter allen daselbst vorkommenden Wahnsinnigen die mit Hallucinationen behafteten durchschnittlich den häufigsten Puls hatten; er war selbst häufiger als bei den mit Manie behafteten. Doch finde ich auch einen Fall berichtet, wo nach den stärksten Blutverlusten die Hallucinationen fortdauerten**).

Nach Baillarger und Moreau begünstigt horizontale Lage die Hallucinationen, unstreitig, weil das Blut dabei mehr nach dem Kopfe strömt; und auch Pinel berichtet von einem melancholischen Frauenzimmer, wo die Hallucinationen des Gehöres sogleich aufhörten, wenn es sass.

Die Bilder, welche bei der Hallucination im Wahnsinne und in extatischen Zuständen erscheinen, sind ihrer Beschaffenheit nach meist in deutlicher Abhängigkeit von früheren äusseren Lebensverhältnissen und Beschäftigungen, aber auch dem früheren Vorstellungsleben der Personen, was natürlicherweise beides selbst so zusammenhängt, dass eine reine Trennung bei Beurtheilung der ursächlichen Momente der Hallucinationen nicht wohl möglich ist. (Belege s. u. a. in Hagen. S. 16 ff.)

Von anderer Seite bestehen die Hallucinationen, wie schon oben bemerkt, oft in gestaltlosen Lichtphänomenen; und auch die gestalteten Phänomene fangen oft damit an oder sind davon begleitet, ein Beweis, dass, abgesehen von allem Einflusse des Vorstellungsvermögens, in der Sinnessphäre eine Disposition dazu vorhanden sein muss. (Vgl. Hagen S. 252.)

Häufig verknüpfen sich die Hallucinationen mehrerer Sinne und dann nicht selten so, wie es Gesetzen der Association entspricht.

»L'observation paraît avoir établi que les hallucinations sont rarement bornées à un seul sens; tout en reconnaissant la vérité de ce fait, sur lequel M. Foville insiste beaucoup, on peut affirmer, qu'en général les hallucinations de tel ou tel sens dominent sur celles des autres sens. C'est surtout dans les maladies aiguës, qu'on observe en même temps plusieurs hallucinations réunies.... Quand il existe des hallucinations de plusieurs sens, ces hallucinations ont ordinairement entre elles des rapports étroits. Ainsi on a pu remarquer dans l'observation de l'halluciné qui léchait les murailles,

---

*) Fror. Not. XXXVII. 137.

**) Brierre de Boismont p. 613.

parcequ'elles lui paraissaient couvertes d'oranges délicieuses (voyez page 139), qu'il sentait en même temps l'odeur et la saveur de ces fruits...... M. Baillarger a rapporté l'observation d'une femme qui reçut un pot de fleurs sur la tête et entendit immédiatement le bruit que faisait ce pot en se brisant en éclats sur le pavé. Plus tard; elle sentait vingt fois par jour le même coup et entendait le même bruit.« (Brierre de Boismont p. 557.)

Häufig auch fehlt es den Hallucinationen an allem vernünftigen Zusammenhange, und Nicolai sagt z. B.: »Wenn gleich mein Nervensystem so sehr angespannt, so sehr schwach, kurz so verstimmt war, dass dergleichen Gestalten erscheinen konnten, so folgten doch bei mir diese Blendwerke keinem bekannten Gesetze der Vernunft, der Einbildungskraft und der sonst gewöhnlichen Association der Ideen.«

Die Täuschung durch Hallucinationen, als ob äussere Gegenstände der Wahrnehmung vorhanden wären, kann nach Umständen mehr oder weniger vollständig sein, und ist jedenfalls in vielen Fällen vollkommen. In der That scheinen hier alle mögliche Gradationen stattzufinden. Manche Hallucinirende sind sich ihres Zustandes und der Täuschung vollkommen bewusst; erkennen die Phantasmen wirklich als Phantasmen, sei es, dass sie in irgend einer Hinsicht nicht den vollen Charakter der Wirklichkeit haben, sei es, dass sie mit dem Zusammenhange der wirklichen Verhältnisse, der sich von anderer Seite her geltend macht, unvereinbar gefunden werden, sobald nur sonst die volle Besinnung da ist.

»Ich konnte, versichert Nicolai, so wie ich überhaupt in der grössten Ruhe und Besonnenheit war, jederzeit Phantasmen von Phänomenen genau unterscheiden, wobei ich mich nicht ein einzigesmal geirrt habe. Ich wusste genau, wenn es mir blos erschien, dass die Thüre sich öffne und wenn die Thüre wirklich geöffnet ward und Jemand wirklich zu mir trat.« Auch sahe er die Farben etwas blässer, als in Wirklichkeit. Aehnlich in einem von Bonnet*) berichteten Falle.

In anderen Fällen hingegen verhält es sich anders. »Ich sahe, sagte ein geheilter Kranker dieser Art zu Esquirol, ich hörte so genau, wie ich Sie sehe und höre.« — »Wenn meine Wahrnehmungen irrig sind, sagte ein sinnesgetäuschter Priester zu Foville,

---

*) Bonnet, essay analytique sur l'âme. Chap. 23. p. 426; Hagen's Sinnestäusch. S. 47.

so muss ich auch an Allem zweifeln, was Sie mir sagen, ich muss zweifeln, dass ich Sie sehe, dass ich Sie höre.«

Ein Patient sagte zu Leuret*): »Vous dites, que je me trompe, parceque vous ne comprenez pas comment ces voix que j'entends arrivent jusqu'à moi, mais je ne comprends pas plus que vous comment cela se fait; ce que je sais bien, c'est qu'elles arrivent, puisque je les entends: elles sont pour moi aussi distinctes que votre voix, et si vous voulez que j'admette la réalité de vos paroles, laissez-moi admettre aussi la réalité des paroles, qui me viennent, je ne sais d'où, car la réalité des unes et des autres est également sensible pour moi.«

Auch sieht man ja sehr oft Wahnsinnige und Fieberkranke Handlungen vornehmen, welche beweisen, dass sie die Sinnestäuschungen durchaus mit Wirklichkeit verwechseln.

Bei manchen Personen findet sich angegeben, dass ihre Visionen verschwanden, wenn sie die Augen schlossen, dagegen bei anderen, dass es hinreichte, die Augenlider niederzulassen, um Hallucinationen eintreten zu lassen. Bei noch Anderen machte es keinen Unterschied, ob sie die Augen öffneten oder schlossen. Nicolai sagt: »Uebrigens erschienen mir die Gestalten zu jeder Zeit und unter den verschiedensten Umständen gleich deutlich und bestimmt; wenn ich allein und in Gesellschaft war, bei Tag und in dunkler Nacht, in meinem Hause und in fremden Häusern. Wenn ich die Augen zumachte, so waren bisweilen die Gestalten weg, zuweilen waren sie auch bei geschlossenen Augen da. Blieben sie aber alsdann weg, so erschienen nach Oeffnung der Augen wieder ungefähr die vorher gesehenen Figuren.« Dr. Crichton hat bemerkt**), »dass Patienten, wenn sie bei Fiebern zuerst zu phantasiren anfangen, diess nur thun, wenn das Zimmer verfinstert ist, oder wenn sie ihre Augen schliessen: öffnen sie sie aber, oder ist das Zimmer hinlänglich erhellt; so hört das Phantasiren auf, und sie sagen oft selbst, wenn sie sich der Dinge erinnern, die sie sahen, dass sie überzeugt wären, sie hätten phantasirt.« Verschiedene Fälle, wo durch Schluss der Augen die Hallucinationen verschwanden, s. in Rüte's Ophthalmol. I. S. 193 u. Griesinger's Schrift S. 72.

---

*) Leuret, fragments de la folie. p. 203.

**) Hibbert S. 285.

In Conflict mit äusseren Sinneswahrnehmungen verhalten sich die Hallucinationen so, dass sie nach Umständen von diesen verdrängt werden können, oder umgekehrt dieselben zu verdrängen oder sich mit denselben zusammenzusetzen vermögen.

Nach Baillarger*) können manche Hallucinirende ihre Hallucinationen unterbrechen, wenn sie ihre Aufmerksamkeit auf äussere Eindrücke wenden; indess andere diess nicht vermögen. Daher öfters Hallucinirende während der Anwesenheit des Arztes ihre Hallucinationen verlieren, welche gleich nach Entfernung des Arztes wiederkehren.

Oft zeigt sich, dass, wenn Phantasmen einen gleichgültigen Hintergrund verdecken, sie dagegen verschwinden, wenn ein Gegenstand, der die Aufmerksamkeit frappirt, sich an ihren scheinbaren Ort stellt oder auch ein Hinderniss des Sehens sich zwischen den Visionen und den scheinbaren Ort der Vision einschiebt.

J. Müller (phant. G. S. 35) bemerkt im Allgemeinen: »Diejenigen, welche phantastische Bilder im wachenden Zustande mit geöffneten Augen gesehen, bezeugen, dass man von ihnen die Augen nicht abwenden könne, d. h., dass sie, wenn sie etwa in der Mitte des Sehfeldes sind, mit allen Gegenständen zusammenfallen, welche bei abwendender Bewegung der Augen in die Sehaxe fallen. Beobachtungen dieser Art hat Gruithuisen (Beitr. z. Physiognosie S. 238. 259) aus eigener und fremder Erfahrung gesammelt.«

In einem Falle, den Scott in s. Demonology berichtet, hatte ein übrigens ganz vernünftiger Mann, nach manchen anderen vorausgegangenen Hallucinationen, die Erscheinung eines Skelets, welche er durchaus nicht zu bannen vermochte, ungeachtet er sich immer von Neuem vorhielt, es sei nur ein Schemen. »Ist denn dieses Skelet, fragte der Arzt, Ihnen immer vor Augen?« Der Kranke bejahte es. »Also auch jetzt?« Allerdings, erwiederte der Patient. »Und wo sehen Sie es?« Unmittelbar am Fusse meines Bettes, und wenn die Vorhänge ein wenig offen gelassen werden, so füllt das Skelet, wie es mir vorkommt, diesen leeren Raum aus. . . . Der Arzt stellte sich zwischen die zwei halb aufgezogenen Vorhänge am Fusse des Bettes, die ihm als der Ort bezeichnet waren, welchen die Erscheinung einnahm. Er fragte nun, ob das Gespenst noch sichtbar sei? Nicht ganz, erwiederte der Patient, weil Ihre Person zwischen ihm und mir steht; aber ich sehe den Schädel des Gespenstes über Ihrer Schulter.«

In einem von Dr. Brach mitgetheilten Falle hatte ein 12jähriges Mäd-

*) Schmidt's Jahrb. 1849. S. 77.

chen durch Schreck vor einem seltsam ausstaffirten Menschen mit rother Mütze, der an einem Knochen nagte, sich ein krampfhaftes Uebel und eine öfter wiederkehrende Vision zugezogen, in der ihr jener Mensch als Phantasma wiedererschien. Als sie das erstemal auf das Phantom zugieng oder nach ihm greifen wollte, wich es einige Schritte von ihr weg. Dr. Brach stellte etwa 14 Tage nach dem ersten Anfalle folgende Versuche an: Er liess Patientin einige Male auf die Erscheinung zugehen bis gegen eine Wand und fragte nun, ob sie den Menschen auch noch durch die Wand hindurch erblicke? Diess war der Fall nicht; denn liess man sie bis auf einen Schritt vor die Wand treten, so schwand die Erscheinung. Liess man sie hingegen bis dicht vor ein Fenster treten, so flohe die Erscheinung zum Fenster hinaus und sahe sie durch das Fenster an. Liess man sie in einen Spiegel sehen, so sahe sie die Erscheinung nicht, sondern ihr eigenes Bild. Trat Jemand zwischen sie und die Stelle hin, wo, ihrer Angabe nach, der Mann sich befand, so sahe sie ihn theilweise, insofern er nicht von der dazwischengetretenen Person bedeckt wurde. Stellte sich Jemand gerade auf die Stelle hin, wo das Scheinbild stand, so schwand dieses das eine Mal ganz, doch stellte es sich ein anderes Mal auch seitwärts. Unter Anwendung geeigneter Nerventropfen nahmen allmälig die krampfhaften Zufälle ab und das Phantom fieng an zu bleichen und zu weichen. Zuerst wurde die rothe Mütze gelb und allmalig blasser, dann wurden die Umrisse der ganzen Figur undeutlicher, hierauf schwand der Mann und nur Gesicht, Mütze und Hand, in der er den Knochen hielt, blieben zurück, dann blieb auch Gesicht und Hand weg und Patientin sahe nur noch den Knochen und die Mütze darüber, die auch fortwährend weisser und blässer wurde. Nach 5 Wochen aber war Trugbild und Veitstanz verschwunden. (Med. Zeit. v. Vereine f. Heilk. in Pr. 1837. No. 5.)

Als ein Conflict mit objectiven Anschauungen ist es unstreitig auch zu betrachten, wenn die Phantasmen mehrfach durchsichtig oder durchscheinend erscheinen, wo sie sich dann ähnlich zu verhalten scheinen, wie wenn man ein Doppelbild, z. B. einer Oblate, auf einem Bogen mit Druck oder Schrift erzeugt, die dann durch das Doppelbild durchscheint. Solcher Angaben finde ich mehrere.

Dem Cardanus schienen die verschiedenen Gestalten aus kleinen Ringen wie die Glieder von Panzerhemden zu bestehen. »Alles war durchsichtig, wiewohl nicht so, als ob es gar nichts zu sein schiene.« (Hagen S. 47.) Einer, welcher den Leichnam eines Secirten vor sich sahe, sahe durch die Gestalt desselben hindurch einen Kupferstich. (London med. gaz. März 1843.) Ein Anderer bemerkt, dass die Hallucinationen bei ihm um so lebendiger gewesen seien, je mehr sich die Seele in einem unthätigen oder leidenden Zustande befand, so dass wirkliche Objecte im Zimmer nicht gesehen wurden. »Wurde aber die Aufmerksamkeit durch

eine Art von Anstrengung erweckt und in Thätigkeit gesetzt, so fiengen die Phantasmen an, gleichsam durchsichtig zu werden, und die Gegenstände der Empfindung (Objecte) nahmen sich so aus, als wenn sie hinter den Phantasmen befindlich gesehen würden. Es war nicht im Mindesten schwer, den einen oder den anderen Gegenstand nach Belieben sichtbar zu machen, denn die Phantasmen verschwanden beinahe, so lange die Aufmerksamkeit fest auf wirkliche Gegenstände gerichtet war.« (Hibbert S. 286.)

Als eine Art Zusammensetzung von Hallucinationen mit äusseren Sinneseindrücken können die Illusionen, in dem S. 505 angegebenen Sinne verstanden, gelten, von denen sich unzählige Beispiele anführen liessen, was jedoch theils überflüssig, theils zu weit führend sein würde.

Ungeachtet die durch Hallucinationen erzeugten Bilder im Allgemeinen alle Farben der wirklichen Welt tragen, so lässt sich doch der schon in Meyer's Erfahrungen (S. 485) hervortretende Umstand, dass die innere Production von Farben schwerer als die von Formen ist*), auch an manchen Erfahrungen bezüglich der Hallucinationen erkennen. Nicolai sahe, da seine Phantasmen zu verschwinden anfiengen, die Farbe derselben zuerst erblassen und die Gestalten schon ganz weiss geworden, als ihre Umrisse noch sehr bestimmt waren, und auch im Falle jenes Mädchens (S. 513), welches den seltsam ausstaffirten Menschen wiederholt als Phantasma sahe, wurde bei allmälig eintretender Genesung die rothe Mütze zuerst gelb, allmälig blässer.

Brewster hat als Probe, ein Phantasma von einem wirklichen Objecte zu unterscheiden, angegeben, dass man den einen Augapfel drücken solle, um zu sehen, ob ein Doppelbild entstehe, welches nur unter Voraussetzung eines wirklichen Objectes entstehen könne. Doch berichtet Paterson**) von einem Falle, wo ein entschiedenes Phantasma bei Verschiebung des Augapfels mit dem Finger sich verdoppelt haben soll. Unmöglich wäre diess insofern nicht, als der Gedanke der Verdoppelung selbst unstreitig ein doppeltes Bild in der Phantasie giebt, was bei einem zur Hallucination Geneigten sich als solche gestalten kann; hiemit aber erscheint die ganze Probe unzuverlässig.

---

*) Die Angabe von Drobisch S. 480 stimmt allerdings hiemit nicht ganz, betrifft aber weniger entschiedene Phänomene.

**) London med. gaz. 1843. März.

Von Wichtigkeit ist die Bemerkung, dass nicht wenige Fälle bekannt sind, wo lebhafte Hallucinationen stattfanden, indess die Kranken am schwarzen Staare litten, ja wo bei der Section die Sehnerven sich beide vollkommen atrophisch zeigten. Eine Verzeichnung solcher Fälle giebt J. Müller, über phant. Ges. S. 31 ff. und Rüte in s. Ophthalmol. I. S. 194.

e) Allgemeine Betrachtungen.

Aus der Gesammtheit der Thatsachen, welche über das Verhältniss der Erinnerungsbilder und Nachbilder und die zwischen beide sich einschiebenden Uebergangsglieder mitgetheilt sind, empfängt man den Eindruck, dass die Vorgänge, welche den Erinnerungsbildern und Nachbildern unterliegen, an sich nicht wesentlich verschieden sind, dass es vielmehr derselbe psychophysische Vorgang ist, der, je nachdem er unmittelbar von Innen heraus oder von Aussen herein angeregt ist, ein Erinnerungsbild oder ein Nachbild, ersteres als späteren Wiederklang, letzteres als unmittelbaren Nachklang eines objectiven Bildes giebt. Mit dieser verschiedenen Erzeugungsweise kann dann die Verschiedenheit in der Stärke, der Gegensatz im Gefühle der Spontaneität und Receptivität und das verschiedene Localgefühl für beide Phänomene wie folgt in Zusammenhang gebracht werden.

Durch welche innere Vermittelungen auch die Widerklänge der von Aussen herein erzeugten Bilder in Erinnerungen zu Stande kommen, worüber wir so viel wie nichts wissen, erscheint es doch ganz natürlich, dass sie, insofern sie nur späte Nachwirkungen dieser Bilder sind, die Intensität derselben bei vergleichbar bleibendem Zustande des Organismus als obere Gränze behalten, und es scheint schwerer erklärlich, dass sie sich in, doch immer nur exceptionell bleibenden, Fällen dieser oberen Gränze in soweit nähern, ja scheinbar dieselbe erreichen können, als dass sie soweit dahinter zurückbleiben, wie es die Regel ist. Wenn sie aber in manchen extatischen Zuständen die äusseren Bilder sogar an Lebhaftigkeit zu übertreffen scheinen, so ist diess nur insofern der Fall, als der aufgeregte Zustand, in dem sich der Organismus bei der inneren Wiedererzeugung befindet, mit dem, in dem er sich bei der Aufnahme befindet, unvergleichbar ist.

Der Unterschied im Gefühle der Spontaneität, was wir bei

Erzeugung der Erinnerungsbilder haben, und der Receptivität, womit wir die Nachbilder auffassen, kann leicht bei denen, die geneigt sind, die Seelenphänomene in solche zu scheiden, welche wesentlich an physischen Vorgängen hängen, und solche, welche nicht wesentlich daran hängen, Anlass sein, mindestens den Act der Erzeugung der Erinnerungsbilder, wenn nicht sie selbst auf die erste Seite, und die objectiven Bilder und deren Nachklänge auf die zweite Seite zu legen. Doch scheint mir unklar und schon darum unhaltbar, sei es die Thätigkeit der Erzeugung oder die der Auffassung der Bilder von den Bildern selbst in der Art zu scheiden, dass jene abstract in der Seele vorgehen können, indess diese nicht abstract darin vorgehen können. Ohne auf den Streit mit Auffassungen, welche einem auf die Ansicht vom ausgedehnten Seelensitze gestützten Systeme widerstreiten, überhaupt zurückkommen zu wollen, haben wir uns unserseits zu erinnern, dass das Erinnerungsbild wie das Nachbild und objective Bild weder psychisch noch physisch im Leeren schweben, sondern besondere Bestimmungen der allgemeinen Bewusstseinsthätigkeit einerseits, des diesem unterliegenden allgemeinen psychophysischen Processes anderseits sind. Im Sinne des Schema und mit Rücksicht auf schon Gesagtes stelle ich diess so vor: wir haben bei den Erinnerungsbildern das Gefühl der Spontaneität, weil bei der Erzeugung von Innen heraus die Totalwelle stärker durch die Erhebung der Unterwelle als Oberwelle gehoben wird; bei der Erzeugung von Aussen her umgekehrt; aber die Gestaltung der Oberwelle ist beidesfalls dieselbe. Inzwischen liegt principiell nichts vor, was Fälle ausschlösse, wo auch von Innen her die Totalwelle stärker durch Erhebung der Oberwelle als Unterwelle steigt; dann hat man die, doch nur als Ausnahme zu betrachtenden, unwillkührlichen Hallucinationen; und überhaupt sind hier viele Uebergänge möglich, wie wir sie in den Erinnerungsnachbildern, Erscheinungen des Sinnengedächtnisses u. s. w. betrachtet haben.

Die zwischen Erinnerungsbildern und Nachbildern in Frage kommenden Oertlichkeitsbeziehungen anlangend, so stellt sich allgemein aus den mitgetheilten Beobachtungen heraus, dass bei der Erweckung nicht geläufiger Erinnerungsbilder die Aufmerksamkeit bei offenen Augen von der Aussenwelt und bei geschlossenen Augen vom schwarzen Sehfelde abgewendet und dem Gefühle nach dahinter zurückgezogen sein muss, und da, wo die

Erinnerungsbilder schwach bleiben, können sie auch fortgehends nur in solcher Abstraction vom äusseren Sinne wahrgenommen und festgehalten werden, in ähnlicher Weise, wie man auch von einem Sinnesgebiete abstrahiren muss, um sich der Wahrnehmungen in einem anderen bewusst werden zu können. Diess spricht dafür, dass das Feld der Erinnerungsbilder *in statu nascenti* und so lange sie schwach bleiben, und das Feld der Nachbilder, welches mit dem schwarzen Sehfelde zusammenfällt, in ähnlichem Sinne verschieden im Gehirne localisirt sind, als die verschiedenen Sinnesgebiete selbst.

Anderseits findet man, wenn man ein Nachbild im geschlossenen Auge oder das schwarze Sehfeld selbst aufmerksam betrachtet, die Spannung der Aufmerksamkeit dem Gefühle nach ganz eben so gegen die Aussenwelt gewendet, als wenn man mit offenen Augen äussere Gegenstände betrachtet. Diess spricht dafür, dass das Feld der Nachbilder und der äusseren Anschauungen als zusammenfallend angesehen werden müssen.

Weiter findet man, dass man, um sich auf etwas Hörbares, Riechbares zu besinnen, dessen Erinnerung uns nicht geläufig ist, die Aufmerksamkeit ganz eben so vom äusseren Sinne zurückwenden muss, als um sich auf etwas Sichtbares zu besinnen, ohne dass sich das Gefühl einer verschiedenen Localisation je nach der Verschiedenheit des Empfundenen, auf das man sich besinnt, kund giebt; wonach anzunehmen, dass die gesammten Vorstellungsbilder in ihrem Ursprunge ein gemeinsames, von dem der Sinnesbilder verschiedenes Feld einnehmen, so dass die Aufmerksamkeit zwischen diesen beiden Feldern eben so wie zwischen verschiedenen Sinnesfeldern selbst wechseln kann.

Diese Betrachtung wird nicht dadurch ungültig, dass das Spannungsgefühl der Aufmerksamkeit, auf dem wir hiebei fussen, wahrscheinlich ein reflectorisches Muskelgefühl ist (vgl. S. 190 f.); denn eine Verschiedenheit durch Reflex erregter motorischer Fasern weist auf eine Verschiedenheit primär erregter sensibler Fasern zurück.

Die räumliche Verschiedenheit des Gebietes der Erinnerungsbilder und Nachbilder ist jedoch als keine Geschiedenheit zu betrachten; vielmehr hängen beide Gebiete natürlicherweise organisch zusammen, sind gemeinsam in dem allgemeinen Nexus des

Gehirnes inbegriffen, pflanzen Wirkungen in einander über und associiren Thätigkeiten mit einander.

Der äussere Lichtreiz ruft mächtige Thätigkeiten im Felde der äusseren Anschauungen hervor; die Fortwirkungen derselben erstrecken sich in das Feld der Vorstellungsbilder hinein, und hinterlassen darin die uns unbekannten Bedingungen, an denen die Möglichkeit der willkührlichen und associationsweisen Erregung der schwächeren Erinnerungs- und Phantasiebilder gebunden ist. Umgekehrt müssen wir nach den Erscheinungen, welche die Erinnerungs- und Phantasiebilder bei grösserer Lebhaftigkeit darbieten, glauben, dass die Hervorrufung von Vorstellungsbildern im einen Felde Fortwirkungen in das andere Feld, das der Sinnesbilder hineinerstreckt, der Art, dass wirkliche Sinnesbilder darin über die Schwelle treten können, sofern solche die wesentlichen Charaktere der objectiven Anschauungen und Nachbilder erlangen und dieselbe Richtung der Aufmerksamkeit fodern.

Der Unterschied, dass Erinnerungsbilder nach Massgabe als sie lebhafter sind, auch leichter in das Augenschwarz hineingemalt werden können, der sich als eine Art gegensätzlicher zwischen mir und Busch wie Meyer dargestellt hat, beruht vielleicht nur darauf, dass sie um so leichter den Eindruck des Augenschwarz, der selbst noch einem Lichteindrucke äquivalent ist, überwiegen. Wenigstens ich selbst finde die Schwierigkeit oder Unmöglichkeit, Erinnerungsbilder in das Augenschwarz hineinzumalen, in sehr natürlichem Connex damit, dass mir das Augenschwarz einen viel intensiveren Eindruck macht, als die in Abgezogenheit der Aufmerksamkeit vom Augenschwarz erzeugten Erinnerungsbilder. Will ich versuchen, sie in dasselbe einzutragen, so erlöschen ihre blassen Lineamente ganz darin, erscheinen dagegen in ihrer eigenthümlichen Schwäche, wenn ich, die Aufmerksamkeit vom Augenschwarz abziehend, dieselben gleichsam ins Leere eintrage. Wo, wie bei Busch, die Erinnerungsbilder von Natur sehr lebhaft, oder wie bei Meyer, durch Uebung zu grosser Lebhaftigkeit gesteigert sind, fällt diess Hinderniss natürlich weg, und mag es ganz natürlich werden, dieselben vorzugsweise in dem Felde aufzufassen, wo die objectiven Bilder und Nachbilder aufgefasst werden.

Auch der scheinbare Widerspruch, dass ich und manche Andere beim Schauen der Erinnerungbilder vielmehr den Theil des

Kopfes, welchen das Gehirn einnimmt, zu gebrauchen meine, indess es Anderen mehr scheint, als wenn sie Augen, Ohren dazu brauchten, hängt unstreitig mit der verschiedenen Stärke der Erinnerungsbilder zusammen. Ich selbst kann die Erinnerungsbilder nie so stark machen, dass sie von ihrem Ursprungssitze aus merklich in das Sinnesgebiet hinein influirten; sondern habe Mühe, sie in ihrer ersten Entstehung festzuhalten; so wie ich mit der Thätigkeit des Besinnens nachlasse, erlöschen sie, und ich habe daher auch immer das Spannungsgefühl der Aufmerksamkeit, was an das Besinnen geknüpft ist. Wo hingegen die Erinnerungsbilder Kraft und Dauer gewinnen, in das Sinnesgebiet übergreifen, associirt sich auch von selbst das zugehörige Spannungsgefühl der Aufmerksamkeit.

Man kann es nicht unwahrscheinlich finden, dass die Thätigkeit, welche vom äusseren Lichte zunächst im Sehnerven angeregt wird und sich erst von da weiter zum Gehirne fortpflanzt, bei den Nachbildern auch noch in dem Sehnerven selbst fortklingt und bei den Vorstellungsphänomenen, wenn sie bis zu sinnlicher Lebhaftigkeit gedeihen, sich wieder rückwärts bis dahin erstreckt, während diess nicht bei schwächeren Vorstellungsbildern der Fall ist. Doch lässt sich über die Triftigkeit dieser speciellen Fassung der Localisationsansicht nicht entscheiden.

f) Einige Bemerkungen über Träume.

Ueber den Traum, die mannichfachen Wendungen und Gestalten, die er annehmen kann, seine ursächlichen Momente, seine Uebergänge in somnambule Zustände u. s. w. liegt viel zerstreutes Erfahrungsmaterial vor*). Doch muss ich auf eingehendere Mittheilung wegen der Ausdehnung des Gegenstandes verzichten, und es wird diess um so eher gestattet sein, als ich von vorn herein auf Vollständigkeit in diesem ganzen Felde verzichtet habe und verzichten musste. Hier will ich nur zu dem, was ich S. 462 über

*) Zu den reichhaltigeren Compilationen gehört die von Burdach in s. Physiologie, III. S. 460 ff.; und wahrscheinlich ist auch in folgendem ausführlichen Werke, das ich aber nicht aus eigener Ansicht kenne, viel darüber zu finden: Lemoine, *du sommeil au point de vue physiologique et psychologique*. 1855. Baillière. 410 pag.

die Träume gesagt habe, noch einige ergänzende Bemerkungen im Anschlusse an das Vorige fügen.

Nach den, im Abschnitte *a*) dieses Kapitels mitgetheilten Thatsachen und unter *e*) angestellten Erörterungen haben wir Anlass, den Schauplatz der psychophysischen Thätigkeit, welche der Entstehung der Vorstellungsbilder und diesen Bildern selbst, so lange sie schwach bleiben, unterliegt, zwar nicht für einen geschiedenen, aber für einen verschiedenen von dem Felde der Thätigkeit zu halten, welche den sinnlichen Bildern unterliegt, so jedoch, dass sich Thätigkeiten in beiden Feldern mit einander associiren und Wirkungen in einander überpflanzen können. Ich vermuthe, dass auch der Schauplatz der Träume ein anderer, als der des wachen Vorstellungslebens ist, bei sehr lebhaften Träumen aber entsprechende Reflexe in die Sphäre der Sinnes- und Bewegungsthätigkeit erfolgen, als diess bei lebhaften Vorstellungen im Wachen der Fall ist.

An sich hat es nichts Unwahrscheinliches, dass die zeitliche Oscillation der psychophysichen Thätigkeit unseres Organismus mit einer räumlichen Oscillation oder Kreislaufsbewegung in ähnlicher Weise causal zusammenhängt, als wir es auch bei periodischen Phänomenen in der äusseren Natur zu finden gewohnt sind; dass also der unter die Schwelle herabgedrückte Gipfel der Hauptwelle unserer psychophysischen Thätigkeit im Schlafe normalerweise eine andere Stelle einnimmt, als der Gipfel darüber im Wachen, und hiemit coincidirend der Spielraum der ihre Schwelle übersteigenden Oberwellen, an denen die Traumvorstellungen hängen, ein anderer ist, als im Wachen.

Wäre es nicht so, so schiene mir die Zusammenhangslosigkeit, in welcher das Traumleben vom wachen Vorstellungsleben erscheint und der wesentlich verschiedene Charakter beider nicht erklärbar. Sollte der Schauplatz der psychophysischen Thätigkeit während des Schlafes und des Wachens derselbe sein, so könnte der Traum meines Erachtens blos eine, auf einem niederen Grade der Intensität sich haltende, Fortsetzung des wachen Vorstellungslebens sein, und müsste übrigens dessen Stoff und dessen Form theilen. Aber es verhält sich ganz anders:

»Nie wiederholt sich (im Traume) das Leben des Tages mit seinen Anstrengungen und Genüssen; seinen Freuden und Schmerzen; vielmehr geht der Traum darauf aus, uns davon zu befreien. Selbst wenn unsere ganze

Seele von einem Gegenstande erfüllt war, wenn tiefer Schmerz unser Innerstes zerrissen, oder eine Aufgabe unsere ganze Geisteskraft in Anspruch genommen hatte, giebt uns der Traum entweder etwas ganz Fremdartiges, oder er nimmt aus der Wirklichkeit nur einzelne Elemente zu seinen Combinationen, oder er geht nur in die Tonart unserer Stimmung ein und symbolisirt die Wirklichkeit. So sind schon die Schlummerbilder fast nie bekannte Gestalten, sondern Figuren, wie wir sie fast nie gesehen haben, wunderliche Bildungen und Formen, dergleichen nicht leicht in der Aussenwelt sich finden.« (Burdach's Physiol. III. S. 474.)

»Nicht leicht ist im Traume Erinnerung: Alles ist, als ob es jetzt geschähe. Und nie stellt sich im Traume etwas dar, was uns einst wirklich begegnet ist; nur Geträumtes wiederholt sich vielleicht. Phantasiebilder von Gegenden sieht man, bekannte Gegenden überhaupt selten, und dann nicht ohne Veränderung. Eben so kommen uns im Traume keine bekannten Melodien, wohl aber neue, sei es, dass wir nach dem Erwachen uns ihrer als geträumter Melodien erinnern, oder dass die in dem Momente des Erwachens und in halbwachem Zustande uns bewusst werdende Melodie sich als eine solche erkennen lässt, welche aus dem Schlafe herüber kommt. Als dem Nachtleben angehörig bezeichnet diese Melodien schon der Umstand, dass sie nach dem Erwachen nicht festzuhalten sind. Sie gleichen Träumen, und wieder einem Denken im Schlafe, was wir überhaupt nicht genau sondern können. Was der Traum aus der Wirklichkeit nimmt, pflegt er zu verfälschen. Häufig erscheinen die Personen in ihren früheren, nicht in ihren jetzigen Verhältnissen. Verschiedene Zeitpuncte werden unter einander gemischt. Man vermisst in dem Vorgange Zusammenhang zwischen Vorher und Nachher.« (Ueber den Geist und sein Verhältniss zur Natur, von einem ungenannten Verfasser. Berlin 1852. S. 209.)

Die Erfahrungen, die wir im Wachen selbst über den Erfolg der Abwendung der Aufmerksamkeit von irgend welchen Gebieten machen können, beweisen, dass die blosse Herabdrückung unter die Hauptschwelle im Sinne unseres Schema nur den Grad, nicht die Art und Ordnung des bewussten Lebens ändert. Die unzähligen Handlungen, die wir im Unbewusstsein während des Wachens vollführen, dass wir uns z. B. waschen, anziehen, handthieren, indess wir dabei an ganz Anderes denken, sind ganz in demselben Sinne und Geiste, gleich vernünftig, als die, die wir mit vollem Bewusstsein vollführen und in vollem Zusammenhange damit. Nicht so mit dem, was wir im Traume thun und vorstellen. Auch lässt sich das eben so wenig daraus erklären, dass wir uns wegen des Schlusses der äusseren Sinne nicht mehr an der Aussenwelt orientiren können und daher auch innerlich zu irren anfangen; sonst müsste Stille der Nacht und Schluss der Augen denselben Erfolg äussern; indess hiedurch der Geist während des Wachens

nur um so gesammelter wird. Weder die einfache Herabdrückung des bewussten Seelenlebens unter die Hauptschwelle, noch die Abziehung von den Einflüssen der Aussenwelt genügt also, die Eigenthümlichkeit des Schlaflebens dem wachen Leben gegenüber zu erklären. Statt einer blossen Herabdrückung der psychophysischen Thätigkeit unter Verschluss der äusseren Sinne ist es vielmehr, als ob die psychophysische Thätigkeit aus dem Gehirne eines Vernünftigen in das eines Narren übersiedelte; weil aber beide Gehirne oder vielmehr Theile des Gehirnes unmittelbar zusammenhängen und die Bewegung selbst eine zusammenhängende und aus einander folgende ist, besteht auch der allgemeine psychische Zusammenhang dazwischen fort.

Unstreitig hängt die Ordnung der psychophysischen Thätigkeit und des daran geknüpften Vorstellungslebens nicht blos von der Anlage, sondern auch von der Ausarbeitung ab, die ihr Organ unter ihrem eigenen Einflusse erfahren hat, daher die Weise, wie die Vorstellungen, die Gefühle eines Erwachsenen, eines Gebildeten sich associiren und aus einander folgen, auch bei gleicher ursprünglicher Anlage ganz anders geordnet ist, als bei einem Kinde, einem Ungebildeten; die Beschaffenheit der Einzelvorstellungen aber, die wir jetzt haben, hängt mit der Beschaffenheit der Nachklänge zusammen, die unser früheres Leben und Denken hinterlassen hat. Nun hat sich der Sitz, den die psychophysische Thätigkeit des Vorstellens im Wachen einnimmt, unter dem vollen und wirksamen Einflusse eines zusammenhängenden vernünftigen Lebens mit Menschen und Welt demgemäss ausgearbeitet, indem die psychophysische Thätigkeit selbst unter diesem Einflusse gestanden und ihren Sitz demgemäss organisirt hat. Nicht so mit dem Sitze der psychophysischen Thätigkeit im Schlafe, in welchen sich nur die Nachklänge dieses Lebens unter der Schwelle hinüberziehen. Statt ihn mit dem Gehirne eines Narren zu vergleichen, werden wir ihn daher noch triftiger mit dem Gehirne eines Kindes oder Wilden vergleichen, nur mit der Rücksicht, dass er mit dem eines Erwachsenen, eines Gebildeten in solcher Verbindung steht, dass beim Uebergange aus Wachen in Schlaf und demgemässer Verrückung des Wellengipfels der psychophysischen Thätigkeit die Nachklänge von dessen Empfindungs- und Vorstellungsleben sich als Traumwellen in den neuen Sitz hinüberziehen. Indem sie nun hier keiner durch die Erziehung ausgearbeiteten

Organisation mehr begegnen, fangen sie an zu irren; so wie ein Kind oder Wilder nicht versteht, was ihm ein Erwachsener oder Gebildeter vorerzählt, untriftige Folgerungen daraus zieht und ungeregelte Phantasiebilder daraus webt. Oder auch, es ist, wie wenn man aus einer Stadt mit festen Strassen, Häusern mit Hausnummern etc. etc. in eine naturwüchsige Wildniss ohne Wege tritt; da wird der Gang unbestimmt; es taucht bald hier, bald da ein Wild auf, aber der geordnete Gang hört auf. Schliesst man blos die Augen im Wachen, so ist diess anders; die vorher mehr in der Richtung nach Aussen beschäftigte psychophysische Thätigkeit sammelt sich, concentrirt sich in dem Sitze des vernünftigen inneren Lebens, in den die Wege der Sinne unmittelbar überführen, siedelt aber nicht in einen anderen über.

Im Uebrigen, wenn das Traumleben ein relativ zusammenhangsloseres, nicht so vernünftig geordnetes ist, als das wache Leben, hat es doch seinen Zusammenhang eigenthümlicher Art. So setzt sich nicht selten, wenn wir nach Zwischenerwachen wieder einschlafen, der Traum des ersten Schlafes in dem zweiten fort, ohne dass die zwischenfallenden Vorstellungen des Wachseins intercurriren, was auch dafür spricht, dass waches und Traumleben einen verschiedenen Schauplatz haben. Besonders ist das bei Nachtwandlern gewöhnlich, so dass sie, wie bei jedem Erwachen zu den täglichen Geschäften, bei jedem Schlafe zu der gewohnten Art des Traumlebens zurückkehren. (Burdach III. S. 474.) So kann man auf der Stadt und auf dem Lande leicht eine ganz verschiedene Lebensart führen, und im Uebergange von einem zum anderen Aufenthaltsorte immer wieder zu derselben in sich zusammenhängenden Lebensart zurückkehren. Unmöglich aber wäre es, an demselben Aufenthaltsorte mit der Lebensart gleicherweise zu wechseln. Was hier vom umsiedelnden Menschen gilt, gilt von der umsiedelnden psychophysischen Thätigkeit im Menschen.

Jedoch kann der Umstand, dass der Gang der Vorstellungen im Traume nicht an so feste Wege gebunden, hiemit freier und die Ordnungslosigkeit doch nicht absolut, sondern nur relativ zu verstehen ist, unter Umständen auch wohl ausnahmsweise grössere Leistungen im Traume möglich machen, als im Wachen, die Phantasie namentlich im Traume zuweilen etwas hervorbringen, was sie im Wachen nicht vermocht hätte. (Beispiele s. in Burdach's Physiol. III. S. 469.) Hiezu trägt die Abziehung vom Aeusseren

bei. Der Träumende ist ein Dichter, der seiner Phantasie die Zügel ganz und gar schiessen lässt, und ganz in eine innere Welt versunken und verloren ist, so dass ihm die Erscheinung Wahrheit wird.

Lassen wir die Betrachtung noch einen letzten Schritt thun. Indem der Gipfel der psychophysischen Thätigkeit, mehr und mehr sich erniedrigend, zugleich mehr und mehr einem, den Sinnesreizen weniger zugänglichen, Theile sich zuwendet, wird er doch aber eben hiemit eine Erhöhung des Inneren, wohin er sich wendet, gegen die Zeit des Wachens bewirken, so dass die psychophysische Hauptwelle zwar im Ganzen gesunken und unter der Schwelle bleibt; aber doch an einer Stelle im Inneren gegen die Zeit des Wachens gestiegen und diese Stelle dem Erwachen näher gerückt ist. Und so ist es auch möglich, dass im abnormen und extremen Falle diess bis zum wirklichen Erwachen geht, und damit ein, durch Schlaf vom gewöhnlichen Wachen geschiedenes und durch Schlaf wieder darein übergehendes, neues Erwachen erfolgt, was dann aber nothwendig mit einem um so tieferen Einschlafen des gewöhnlichen Sitzes wachen Lebens in Beziehung steht. Diess könnte das Erwachen zum Somnambulismus sein.

Wenn das somnambule Wachen vernünftiger als der Traum scheint, könnte diess daher rühren, dass die doch immerhin fremde und oft mit Visionen bevölkerte innere Welt bei dem helleren Bewusstseinslichte des neuen Wachens von selbst auch so zu sagen klarer überschaulich wird.

Ich halte es aber für bedenklich, den Versuch, die Erscheinungen des Schlafes psychophysisch zu repräsentiren, noch weiter auf die particulären Erscheinungen des Somnambulismus auszudehnen. Nicht, dass sich nicht hoffen liesse, die Psychophysik werde auch in dieser Hinsicht ein bis jetzt noch vermisstes Licht geben; nicht, dass sich nicht allgemeine Gedanken darüber schon jetzt entwickeln liessen. Aber um zu etwas Sicherem zu führen, wird vorher noch Manches in diesem Felde Seitens der Thatsachen wie der psychophysischen Gesetze sicher gestellt sein müssen, was zur Zeit noch nicht sicher steht.

Dass die Traumvorstellungen Reflexe in das Gebiet der äusseren Muskelthätigkeit und äusseren Sinnesempfindungen mitführen können, geht einerseits daraus hervor, dass Schlafende nicht selten in Folge von Träumen sich bewegen, anderseits, dass nach

mehrfachen Angaben lebhafte Traumvorstellungen selbst nach dem Erwachen noch als Nachbilder, Nachempfindungen fortbestehen können. Mehrere eigene und fremde Erfahrungen der Art, Gesichts-, Gehörs-, Geschmackssinn betreffend, berichtet Gruithuisen in s. Beiträgen z. Physiognosie und Eautognosie. 1812. S. 237 ff. u. 256, welche Burdach in s. Physiologie III. S. 465 und J. Müller in s. Schrift über phant. Ges. S. 36 zum Theil reproducirt hat. Folgende Beispiele eigener Erfahrung theilt H. Meyer in s. Physiologie der Nervenfaser S. 309 mit.

»Ich gieng im Traume in einem finsteren, engen Thale neben einem Kanale hin, in welchem das Wasser trübe und schwarz floss; da kam plötzlich ein kleiner hellgelber Mops und bellte mich heftig an, indem er mich immer zu beissen drohte; ich wehrte denselben ab, indem ich mich, wie er auch herumsprang, immer nach seiner Seite kehrte; darüber erwachte ich, es war bereits ziemlich helle Morgendämmerung, und ich sahe noch längere Zeit das deutliche schwarze Nachbild des Mopses vor meinen Augen schweben.

Ein ander Mal träumte mir von einer Gesellschaft; das Gewirre war bunt und die Bedienten liefen mit den Theebretern hin und her; ich fasste gerade einen, welcher mit grosser Behendigkeit zur Thüre hinaus gieng, ins Auge, da wachte ich auf, es war schon dämmerig, und ich sahe noch längere Zeit das dunkle Bild des Bedienten, welcher in etwas vorgebogener Stellung das Theebret hielt, vor mir.

Eine gleiche Erscheinung hatte ich von einem Kapuziner, der eine Pistole in der Hand hielt.

Diese Nachbilder erschienen mir alle als dunkle Schatten mit etwas verwaschenen Rändern.«

Hienach dürfte auch der wesentliche Unterschied der unwillkührlichen, leicht in Träume übergehenden, Hallucinationen vor dem Einschlafen von den willkührlich erzeugten Sinnesphantasmen des Abschnittes *a*) nur darauf beruhen, dass jenes Reflexe aus dem Sitze, welchen der Gipfel der psychophysischen Hauptwelle unter der Schwelle im Schlafe einnimmt, dieses aus dem Sitze des Gipfels über der Schwelle im Wachen in die Sinnessphäre hinein sind, von welchen erstere selbst schon bei Annäherungen an den Schlaf erfolgen könne. So erklärt sich, dass jene unwillkührlich mit phantastisch traumartigen Bildern, auch wenn sie noch nicht Träume sind, in das wache Leben hineinspielen, indess diese durch Willkühr und Association nach den Gesetzen des Wachens bestimmt sind.

XLV. Psychophysische Continuität und Discontinuität. Psychophysischer Stufenbau der Welt. Anknüpfungspunct der Psychophysik an Naturphilosophie und Religion.

Als gewissen Ausgangspunct der folgenden, am Schlusse sich in ferne Aussichten verlierenden, Betrachtungen sehe ich folgenden allgemeinen Satz an, der sich durch die hinzuzufügenden Thatsachen zugleich zu erläutern und zu begründen haben wird, stillschweigend auch schon früher vorausgesetzt worden ist und vorausgesetzt werden musste, sofern die Thatsachen überall keine andere Deutung und Verwerthung zulassen, als unter seiner Voraussetzung.

Das psychisch Einheitliche und Einfache knüpft sich an ein physisch Mannichfaltiges, das physisch Mannichfaltige zieht sich psychisch ins Einheitliche, Einfache oder doch Einfachere zusammen. Oder anders: das psychisch Einheitliche und Einfache sind Resultanten physischer Mannichfaltigkeit, die physische Mannichfaltigkeit giebt einheitliche oder einfache Resultanten.

Das psychisch Einheitliche und Einfache sind insofern unterschieden, als das Einheitliche selbst noch die Verknüpfung einer unterscheidbaren Mehrheit ist, woraus aber das Bewusstsein der Verknüpfung oder verknüpfende Bewusstsein als etwas identisch Einfaches abstrahirbar ist, wie man sich an der Einheit des Bewusstseins, der Einheit einer Idee oder eines Begriffes erläutern kann, indess das schlechthin Einfache keine unterscheidbare Mehrheit mehr einschliesst, und nur Element für Verknüpfungen, aber nicht selbst mehr Verknüpfung von Einfacherem ist, wozu eine einfache Ton-, Farben-, Geruchsempfindung Beispiele gewähren.

Untriftig hat man oft die abstracte Einfachheit des Bewusstseins mit einer Einfachheit der ganzen concreten Seele verwechselt, nutzlos meines Erachtens durch ein einfaches hinterwirkliches Seelenwesen hypostasirt.

Denselben Satz habe ich im 37. Kapitel mit anderer Richtung der Auffassung auch so ausgesprochen, dass der Geist, die Seele, das verknüpfende Princip für die körperliche Zusammenstellung und Auseinanderfolge sei, unter Hinweis (S. 388), wie beide Ausdrucksweisen im Factischen zusammentreffen, so dass es hier wie früher gleichgültig sein kann, welcher man sich bedienen will.

Die Thatsachen, als deren Zusammenfassung ich sie betrachte, und in deren Sinne sie zu verstehen sind, sind folgender Art.

Die identische Einheit des Bewusstseins knüpft sich an ein zusammengesetztes körperliches System; und die Gründe, welche

im 37. Kapitel (über den Sitz der Seele) dargelegt sind, gestatten factisch nicht, dieses blos als äussere Hülle eines einfachen Seelensitzes anzusehen. Mit beiden Gehirnhälften denken wir nur einfach, mit den identischen Stellen beider Netzhäute sehen wir nur einfach; dem einfachsten Gedankengange liegt nach den zusammengesetzten Anstalten in unserem Gehirne ein sehr zusammengesetzter Process unter; die einfachste Licht- oder Schallempfindung knüpft sich an Vorgänge in uns, die als angeregt und unterhalten durch äussere Oscillationsvorgänge, auch selbst irgendwie oscillatorischer Natur sein müssen, ohne dass wir etwas von den einzelnen Phasen und Oscillationen unterscheiden. Die unsäglich mannichfaltigen einfachen Geruchs- und Geschmacksempfindungen würden sich psychophysisch nicht repräsentiren lassen, wenn wir nicht einfache Resultanten verschieden zusammengesetzter Processe darin sehen wollten, welche sich nach dieser Zusammensetzung verschieden qualificiren.

So gewiss es hienach ist, dass einheitliche und einfache psychische Resultanten an physischer Mannichfaltigkeit hängen, so gewiss ist von der anderen Seite, dass nicht alles physisch Zusammengesetzte, selbst wenn es einem in sich zusammenhängenden körperlichen Systeme angehört, in eine *einfache* psychische Resultante zusammengeht. Ob nicht doch in eine einheitliche, ist Glaubenssache, denn man kann fragen, ob nicht schliesslich die ganze Welt eine einheitliche psychische Resultante gebe; dann fehlt uns aber wenigstens das Bewusstsein dieser Einheit.

Zuvörderst unterscheiden sich verschiedene Bewusstseinsgebiete in den verschiedenen Menschen und Thieren, ungeachtet ihre Leiber Theile desselben allgemeinen Systemes materieller Puncte sind, das wir kurz Natur nennen. Dann weiter unterscheiden sich in jedem Menschen und Thiere die verschiedenen Sinnesgebiete, und im Felde des Gesichtes und Getastes können wieder mehrere gleichzeitige Empfindungen unterschieden, auch solche Unterschiede in der Erinnerung reproducirt werden.

Ueberhaupt befasst das Seelenleben jedes Menschen und Thieres eine unzählige Menge theils coexistirender, theils successiver unterscheidbarer Phänomene, ungeachtet doch das ganze körperliche System und Leben desselben räumlich und zeitlich in sich zusammenhängt.

Der Kürze halber mögen wir die beiden Fälle, um deren Un-

terscheidung es sich hier handelt, als psychophysische Continuität und Discontinuität unterscheiden. Continuität, sagen wir, findet statt, sofern eine physische Mannichfaltigkeit eine einheitliche oder einfache psychische Resultante giebt, Discontinuität, sofern sie eine unterscheidbare Mehrheit von solchen giebt. Insofern aber in der Einheit eines allgemeineren Bewusstseins oder Bewusstseinsphänomenens selbst noch eine unterscheidbare Mehrheit vorhanden ist, schliesst die Continuität eines allgemeineren Bewusstseins die Discontinuität besonderer Phänomene nicht aus.

Eine der wichtigsten Fragen und Aufgaben der Psychophysik ist nun die, die Gesichtspuncte festzustellen, unter welche der Fall der psychophysischen Continuität und Discontinuität tritt.

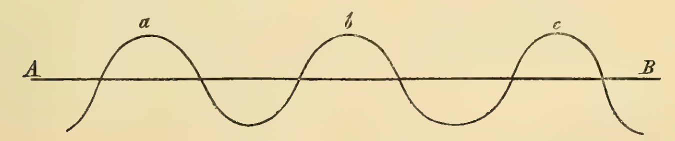
Woran hängt es, dass die verschiedenen Organismen ein geschiedenes Bewusstsein haben, ungeachtet ihre Leiber so gut durch die allgemeine Natur zusammenhängen, als die Theile jedes Organismus unter sich, die doch zu einem einheitlichen Bewusstsein zusammenstimmen. Unstreitig kann man sagen, der Zusammenhang der Theile in einem Organismus sei inniger, als der der Organismen in der Natur. Aber was heisst ein innigerer Zusammenhang? lässt sich auch an eine Relation ein absoluter Unterschied knüpfen? Und zeigt nicht die Natur im Ganzen so gut die Charaktere einer festen, ja noch unlösbareren, Verknüpfung, als jeder Organismus in ihr? Dieselben Fragen wiederholen sich innerhalb jedes Organismus. Woran hängt es, dass wir mit verschiedenen Gesichts- und Tastnervenfasern verschiedene Raumpuncte unterscheiden, indess Alles, was durch dieselbe Faser eintritt, ununterschieden bleibt; ungeachtet doch die verschiedenen Nervenfasern so gut im Gehirne zusammenhängen, als die Theile derselben Nervenfaser unter sich? Wieder kann man einen innigeren Zusammenhang der letzteren geltend machen, aber wieder werden sich ähnliche Gegenfragen als oben bezüglich der ganzen Organismen wiederholen.

Unstreitig ist die Aufgabe, welche hier für die Psychophysik vorliegt, bis jetzt noch keiner scharfen Lösung fähig, doch lässt sich ein allgemeiner Gesichtspunct dafür wohl aufstellen, und zwar in consequentem Zusammenhange mit dem, welcher über die Beziehung zwischen den allgemeinen und besonderen Bewusstseinsphänomenen im 42. Kapitel aufgestellt worden ist. Daher erläutere ich denselben auch an dem dort gebrauchten Schema, was

der abstracten Darstellung um so mehr vorzuziehen sein wird, als das Schema selbst von einer Seite so bestimmt, von anderer Seite so unbestimmt ist, als unsere Kenntniss von den Bedingungen der Frage.

Wenn sich zwischen den verschiedenen Organismen jene Continuität des Bewusstseins unterbrochen zeigt, vermöge deren sich eine Vielheit von Sonderphänomenen in derselben Seeleneinheit verknüpft; ungeachtet doch alle Organismen durch die allgemeine Natur zu einem einzigen Systeme verknüpft sind, so kann diess nur darauf geschrieben werden, dass die psychophysische Thätigkeit sich zwischen ihnen nicht in derselben Weise durch die Natur forterstreckt, als in ihnen, sei es, dass sie in der äusseren Natur, oder selbst schon über jedes Nervensystem hinaus, überhaupt fehlt oder dass sie unter die Schwelle sinkt, was unter dasselbe Princip tritt, sofern ein Aufhören der psychophysischen Thätigkeit nur die grösstmögliche Tiefe unter der Schwelle bedeutet.

Insofern wir nun jedes System psychophysischer Thätigkeit, was durch ein allgemeines oder Hauptbewusstsein verknüpft ist, durch eine Welle, Hauptwelle darstellen können, welche mit ihrem Gipfel eine gewisse Gränze, die Schwelle, übersteigt, werden wir den physischen Zusammenhang aller psychophysischen Systeme durch die Natur mit ihrer psychophysischen Discontinuität zugleich dadurch darstellen können, dass wir alle Wellen in Zusammenhang verzeichnen; aber nicht oberhalb, sondern unterhalb der Schwelle zusammenhängen lassen, nach diesem Schema:



Hier stellen a, b, c drei Organismen oder vielmehr die psychophysischen Hauptwellen dreier Organismen vor, AB die Schwelle. Was von jedem Wellenberge die Schwelle überragt, hängt in sich zusammen und trägt ein einiges Bewusstsein; was unter der Schwelle ist, trennt als Unbewusstsein tragend das Bewusste, indess es doch noch die physische Verbindung dazwischen unterhält.

Allgemein: wenn eine psychophysische Hauptwelle oberhalb ihrer Schwelle in sich zusammenhängt, so findet Einheit, Identität

des Hauptbewusstseins statt, indem dann der Zusammenhang der psychischen Phänomene, welcher den Theilen dieser Welle zugehört, auch in das Bewusstsein fällt. Wenn hingegen Hauptwellen nicht oder nur unter der Schwelle zusammenhängen, so findet Scheidung des zugehörigen Bewusstseins statt, indem dann ein Zusammenhang des Bewusstseins für das Bewusstsein nicht vorhanden ist. Oder kurz: das Hauptbewusstsein ist continuirlich oder discontinuirlich, einheitlich oder discret, je nachdem die psychophysischen Hauptwellen, die ihm unterliegen, continuirlich oder discontinuirlich oberhalb ihrer Schwelle sind.

Unter denselben Gesichtspunct als der Fall der durch die äussere Natur geschiedenen Organismen tritt der zuweilen vorgekommene Fall zusammengewachsener Menschen, deren Gehirn nicht zusammenhängt, sofern die Hauptwelle ihrer psychophysischen Thätigkeit unstreitig nur innerhalb ihres Nervensystemes oder selbst nur Gehirnes oberhalb der Schwelle ist, durch den übrigens verwachsenen Organismus also nur unterhalb der Schwelle zusammenhängt.

Es würde hinreichen, den ganzen Wellenzug a, b, c... im Schema zu erheben, so dass die Wellenthäler in der Natur mit den Bergen zugleich über die Schwelle träten, so würden sie nur noch Einsenkungen eines und desselben oberhalb der Schwelle continuirlichen Wellenzuges bilden, und die Discontinuität des Bewusstseins in der Natur würde sich in Continuität verwandeln. Das können wir nicht verwirklichen. Es würde auch hinreichen, die Berge so zusammenzuschieben, dass die Thäler wegfielen, und die Berge oberhalb der Schwelle confluirten; so würden die discret empfindenden Organismen zu einem einheitlich empfindenden Organismus werden. Auch das kann der Mensch nicht willkührlich verwirklichen; er ist aber selbst die Verwirklichung davon. Seine zwei Hälften, die rechte und linke, sind in dieser Weise verbunden; und die Menge Segmente eines Strahlthieres und anderer theilbarer Thiere beweisen, dass noch mehrere dergleichen so verbunden sein können. Man braucht sie in der That blos wieder zu trennen, d. h. einen Theil der Natur unter der Schwelle zwischen sie einzuschieben, so zerfallen sie auch wieder in zwei für sich empfindende Wesen.

Zum Anhalte für die Vorstellung, wie sich die Phänomene bei solchen Trennungsversuchen darstellen, theile ich hier einige Beobachtungen Bon-

net's*) aus seiner Abhandlung »Observations sur quelques espèces de vers d'eau douce, qui coupés par morceaux, deviennent autant d'animaux complets« mit.

Bonnet beschreibt das Thier, an dem er seine Versuche angestellt, ohne einen naturhistorischen Namen dafür anzugeben; Treviranus (die Ersch. u. Ges. d. org. Leb. I. 57. 59) bezeichnet es als bunte Naide (Nais variegata oder Lumbricus variegatus Müll.).

p. 178. »J'avois partagé un pareil ver en deux parties. Je fis cette opération le 3. de Juin 1741. — Immédiatement après je mis les deux moitiés dans une espèce de tasse de verre, de trois à quatre pouces de diamètre sur un pouce ou environ de profondeur. Je ne les perdis presque pas de vue: je remarquai que la première moitié, celle où tenoit la tête, se mouvoit comme à l'ordinaire. Mais ce qui me parut bien autrement remarquable, c'est que l'autre moitié qui n'avait point de tête, se mouvoit presque comme si elle en avoit eu une. Elle alloit en avant en s'appuyant sur l'extrémité antérieure de son corps; elle avançoit même avec assez de vitesse. On voyoit que ce n'étoit point un mouvement sans direction, un mouvement produit par une cause telle que celle qui fait mouvoir la queue d'un Lézard après qu'elle a été séparée du tronc, mais un mouvement très-volontaire. On l'observoit se détourner à la rencontre de quelque obstacle, s'arrêter, puis se remettre à ramper. Lorsque les deux moitiés venaient à se rencontrer, c'étoit comme si elles n'eussent jamais formé un même insecte: elles ne paroissoient ni se chercher, ni se fuir. Chacune tiroit de son côté: ou si elles alloient de compagnie vers le même endroit, la première dévançoit ordinairement la seconde. Mais celle-ci ne montroit jamais mieux une sorte de volonté, que lorsque je l'exposois au soleil: elle hâtoit alors considérablement sa marche.«

»Deux jours s'étant écoulés, je crus devoir mettre dans la tasse un peu de terre et de lentille aquatique. La première moitié ne tarda pas à s'y enfoncer: mais la seconde se contenta de se cacher entre les menues racines de la lentille: Dans ce temps-là j'observois au bout antérieur de cette moitié une espèce de petit renflement, une sorte de bourlet analogue à celui qui vient à une branche d'arbre dont on a enlevé circulairement une portion d'écorce: je ne le distinguai pas si bien à l'extrémité postérieure de l'autre moitié. Ce bourlet sembloit lui donner plus de facilité pour ramper, elle ne paroissoit plus craindre autant le frottement.«

»Le lendemain j'apperçus à la coupe de chaque moitié un petit accroissement reconnoissable par la différence de couleur, qui était là beaucoup plus claire que dans le reste du corps. Les jours suivans tout devint plus sensible. Enfin au bout d'environ une semaine, chaque moitié fut un ver complet. La tête qui avoit poussé à la seconde, était précisément telle, quant à la forme, que celle de la première, et capable des mêmes fonctions; et la nouvelle queue de celle-ci, en tout semblable à celle de la seconde moitié; le coeur, l'estomac, les intestins, etc. s'étoient prolongés dans l'une et dans

*) Oeuvres d'hist. nat. T. I. 1779. p. 167 ff.

l'autre; de nouveaux anneaux avoient poussé à la suite des anciens. En un mot, tout ce que le premier ver faisoit avant que d'avoir été partagé, nos deux vers qui en étoient provenus, le faisoient pareillement; même agilité, mêmes inclinations, même façon de vivre, de se nourrir.«

p. 241. »Tout cela, quoique fort remarquable, ne l'est pas néanmoins autant que ce que j'ai observé sur de semblables vers, peu de temps après leur avoir coupé la tête. Je les ai vus, à mon grand étonnement, s'enfoncer dans la boue en se servant de leur bout antérieur comme d'une tête, pour s'y frayer un chemin. J'ai vu le ver no. 2. de la Tab. II. ramper le long des parois du vase de verre, où je le tenois renfermé, et faire effort pour en sortir, quoiqu'il n'eût ni tête ni queue.«

p. 183. Bonnet wiederholte nachher diese Versuche so, dass er die Thiere, statt blos in zwei, in drei, in vier, in acht, in zehn, in vierzehn Theile theilte, und alle oder fast alle, reproducirten Kopf und Schwanz; einmal selbst geschahe diess bei einem in sechzehn Theile getheilten Thiere. Ueber die Weise der Lebensäusserungen der Stücke bis zur Reproduction ist aber nichts angegeben.

p. 191. So wie Knochen, wenn einmal die Verknöcherung bis zu einem gewissen Puncte gediehen ist, nur noch an ihren Enden wachsen, fand auch Bonnet nach mehreren Beobachtungen, dass die Stücke des getheilten Thieres sich nur durch Sprossen an den Enden, nicht durch inneres Wachsthum wieder zur früheren Grösse ergänzen.

p. 218. »Man kann dasselbe Thier wiederholt um Kopf oder Schwanz verkürzen; es erfolgt immer Wiedererzeugung, doch gelang es Bonnet nicht, diess über 16mal bei demselben Thiere zu treiben.«

p. 228. Kopf und Schwanz, wenn man sie zu nahe am Körper abschneidet, reproduciren sich niemals. »Je suis maintenant si persuadé, que ni l'une ni l'autre de ces parties ne sauroient devenir des animaux parfaits, que je le regarde comme un principe dans cette matière, d'où je crois pouvoir tirer cette conséquence, que la source de reproduction ne réside pas dans tout le corps de ces vers, mais que si l'on fait la section à une distance de l'une ou de l'autre extrémité, qui soit moindre qu'une ligne et demie, la partie coupée périra sans se reproduire.« Hingegen reproducirten sich Stücke von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ Linie, zwischen diesen beiden Puncten genommen, zu Thieren, denen nichts fehlte.

Die Gesammtheit der Thatsachen, welche sich auf diese Verhältnisse der Verbindung und Trennung beziehen, führt zu folgendem allgemeinen Satze, welcher in das hineintritt, was im 37. Kapitel über die solidarische Ergänzung und Vertretung der Körpertheile im Dienste der Seele gesagt wurde.

Wenn ein psychophysisches System sich aus einer Mehrheit von gleichen Theilen, Segmenten zusammensetzt, die oberhalb der Schwelle zusammenhängen, so geben sie in ihrer Verbindung eine einheitliche psychische Leistung derselben Art, als jeder für

sich zu geben vermöchte, unterstützen sich also in derselben Leistung, so lange sie oberhalb der Schwelle zusammenhängen, und geben dieselbe einheitliche Leistung jeder für sich nur mit verminderter Stärke, die unter Umständen unter die Schwelle fallen kann, wenn sie so getrennt werden, dass sie nicht mehr oberhalb der Schwelle zusammenhängen.

In der That ist diess nur der Ausdruck der Thatsachen, die man an theilbaren Thieren beobachtet, in soweit man die natürlichste Deutung ihrer Lebensäusserungen vor und nach der Theilung gelten lässt. Dass die getrennten Theile bei gleicher Art der psychischen Leistung solche doch nicht in gleicher Stärke als vorher das ganze Thier geben, lässt sich aus der im Allgemeinen geringeren Energie ihrer Lebensäusserungen schliessen, die unter Umständen bis zum Absterben gehen kann, bis es gelungen ist, die abgetrennte Hälfte durch Reproduction zu ersetzen, wozu alle theilbaren Thiere befähigt sind.

Dasselbe, was die Versuche mit völliger Theilung von Thieren lehren, lehren die Versuche mit Abspaltung oder Zerstörung blos einer Hirnhälfte. In der That gewährt jede Hirnhälfte nach Abtrennung oder Zerstörung der andern, falls das Leben überhaupt fortbesteht, noch dasselbe Bewusstsein, wie die Versuche von Flourens an Thieren, sofern ihr Bewusstseinszustand nach ihren Aeusserungen beurtheilbar ist, und approximative pathologische Erfahrungen an Menschen gelehrt haben, nur mit leichterer Ermüdung, als wenn die wechselseitige Unterstützung stattfindet, wie man aus einigen merkwürdigen Erfahrungen schliessen kann.

Ferrus berichtet von einem Generale, der durch eine Verwundung einen grossen Theil des linken Scheitelbeines verloren hatte, was eine beträchtliche Atrophie der linken Hirnhemisphäre nach sich zog, die sich äusserlich durch eine enorme Depression des Schädels kund gab. Dieser General zeigte noch dieselbe Lebhaftigkeit des Geistes, dasselbe richtige Urtheil als früher, konnte sich aber geistigen Beschäftigungen nicht mehr hingeben, ohne sich bald ermüdet zu fühlen. Longet sagt bei Mittheilung dieser Erfahrung, er habe einen alten Soldaten gekannt, der sich ganz in demselben Falle befinde. (Longet, Anat. et physiol. du syst. nerv. I. 670.)

Diese wie die folgenden Beispiele sind gewissermassen pathologische Wiederholungen der, von Flourens an Thieren angestellten, physiologischen Versuche am Menschen, und können dienen zu beweisen, dass in der That für Menschen und Thiere in dieser Hinsicht ganz dieselben Verhältnisse gelten.

»Diemerbroek*) erzählt von einem Mädchen, welchem die ganze rechte Hirnhälfte durch den Fall eines schweren Steines zerstört wurde, und bei welchem noch 36 Stunden lang das psychische und das sensorielle Leben sich ungestört zeigte. Einen ähnlichen Fall erzählt Roloff**) von einem Weibe, bei welchem man bei der Section bedeutende Zerstörungen der linken Hirnhälfte fand, während die rechte Hemisphäre ganz normal war; bei diesem Individuum waren die psychischen Functionen nicht im Mindesten getrübt .... Bei einer alten Frau, welche an Lungenentzündung starb, fand man die linke Gehirnhälfte vollkommen gesund, die rechte aber fast in allen ihren einzelnen Theilen atrophisch, und dieses Weib hatte nie an der geringsten psychischen Störung gelitten***).« (Friedrich's Handb. 60.) Longet berichtet von einem 29jährigen Manne, dessen geistige Kräfte keine merkliche Abweichung darboten, ungeachtet die ganze rechte Hemisphäre des grossen Gehirns, mit Ausnahme der Basaltheile, fehlte. (Longet, Anat. et Physiol. du syst. nerv. 1842. I. 669.) — Neumann führt einen Fall an, in welchem eine Kugel eine ganze Hemisphäre zerstört hatte, ohne die Besinnung zu rauben. (Neumann, von den Krankheiten des Gehirns des Menschen. Coblenz 1833. S. 88.) — Abercrombie berichtet von einer Frau, bei welcher die Hälfte des Gehirns in eine krankhafte Masse aufgelöst war, und die dennoch, eine Unvollkommenheit des Sehens abgerechnet, alle ihre geistigen Vermögen bis zum letzten Augenblicke behielt, so dass sie noch einige Stunden vor ihrem Tode einer fröhlichen Gesellschaft in einem befreundeten Hause beiwohnte. (Abercrombie, inquiries etc.) — Ein Mann, dessen O'Holloran erwähnt, erlitt eine solche Verletzung am Kopfe, dass ein grosser Theil der Hirnschale auf der rechten Seite weggenommen werden musste; und da eine starke Eiterung eingetreten war, so wurde bei jedem Verbande durch die Oeffnung eine grosse Menge Eiter mit grossen Quantitäten des Gehirns selbst entfernt. So geschahe es 17 Tage hindurch, und man kann berechnen, dass fast die Hälfte des Gehirns, mit Materie vermischt, auf diese Weise ausgeworfen wurde. Dessenungeachtet behielt der Kranke alle seine Geisteskräfte bis zu dem Augenblicke seiner Auflösung, so wie auch während dieses ganzen Krankheitszustandes seine Gemüthsstimmung ununterbrochen ruhig war.

Es verhält sich mit beiden Hirnhemisphären factisch eben so wie mit zwei Pferden, die vor einen und denselben Wagen gespannt sind. Man kann das eine Pferd ausspannen und der Wagen geht noch in demselben Sinne wie früher fort, nicht minder das andere, und hienach könnte man meinen, sie seien beide gleich überflüssig für den Gang des Wagens; der Wagen würde auch noch gehen, wenn man beide ausspannt. Aber dann steht er still;

---

*) Anat. lib. III. cap. 5.

**) Nasse's Zeitschr. 1825. Heft 3. S. 173.

***) Bell, in d. revue médic. Mai 1831.

und auch während beide am Wagen sind, sind sie nicht blos da, sich für etwaigen Wegfall des andern zu vertreten, sondern auch sich in dem Zuge zu unterstützen; denn spannt man das eine aus, so geht der Wagen träger, oder wenn etwa noch gleich schnell wegen stärkern Antriebes des einen Pferdes, doch mit minderer Dauer.

Für den ersten Anblick muss es freilich sehr paradox erscheinen, dass Wegfall oder Zerstörung einer ganzen Hemisphäre des Gehirnes den normalen Gang des Seelenlebens so wenig oder gar nicht benachtheiligt, indess viel kleinere Schädigungen auf einer Seite oder nicht correspondirende Schädigungen auf beiden Seiten des Gehirnes oft die grössten Störungen darin hervorrufen. Aber auch diess erklärt sich leicht aus der Solidarität, in der die Thätigkeit der Hemisphären bezüglich ihrer psychischen Leistungen steht und lässt sich an dem nur eben gebrauchten Bilde erläutern. Wenn von zwei Pferden vor einem Wagen das eine wild oder lahm durch einen localen Schaden wird, so wird der Gang des andern mit gestört, weil sie eben nur in Verbindung ziehen können; spannt man das wilde oder lahme ganz aus, so hört die Störung auf, und geht blos der Wagen schwächer; daher unstreitig manche Geistesstörungen durch Amputation eines Theiles des Gehirns eben so gehoben werden könnten, als man manche andere Schäden durch Amputation des schadhaften Theiles hebt, liesse sich anders die Operation ohne Gefahr für das Leben ausführen.

Inzwischen, was wir nicht willkührlich vornehmen können und mögen, kann wieder durch äussere oder innere von unserer Willkühr unabhängige Umstände erfolgen. So gehören wahrscheinlich hieher die nicht zu selten vorkommenden Fälle, dass der Wahnsinn kurz vor dem Tode aufhört, indem der Tod die kranken Theile des Gehirns, welche durch ihren Zusammenhang mit gesunden eine Störung des geistigen Lebens bewirken, vor den gesunden zerstört. Auch ist diess im Wesentlichen die Erklärung, welche F r i e d r e i c h, in dessen Handb. d. allg. Pathol. der psych. Krankhh. S. 497 mehrere Fälle dieser Art zusammengestellt sind, davon giebt.

Noch directer können hieher einige merkwürdige Fälle bezogen werden, wo die Verwundung des Gehirns mit Verlust von Gehirnsubstanz vortheilhaft für die Intelligenz gewesen zu sein

scheint. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Vortheil hiebei aus demselben Gesichtspuncte zu betrachten ist, den das Trepaniren hat, sofern nämlich mit Verminderung der Gehirnsubstanz ein nachtheiliger Druck, den das Gehirn wahrscheinlich vorher erlitt, recht wohl vermindert werden konnte, der die geistigen Vermögen vorzugsweise beeinträchtigt. In der That litten die Individuen, bei denen dieser vortheilhafte Erfolg vom Verluste der Hirnsubstanz beobachtet ward, vorher an Kopfschmerz, Stumpfsinn oder träumerischem Wesen, was Alles sehr wohl von einem Drucke auf das Gehirn abhängen konnte.

Ich habe 4 Fälle, die hieher gehören, gefunden, einer ist in den Nov. Act. nat. cur. II. 364; ein anderer in the north-americ. med. surg. Journ. 1830. Jan. p. 213; ein dritter in Carresi selecta, Siena 1830. dec. IX; ein vierter in l'Institut. 1836. no. 134 mitgetheilt.

Man übersieht leicht, wie der Fall der Zerstörung einer Hirnhälfte mit der Spaltung eines Thieres zusammenhängt. Ob die einander gleichen Segmente des psychophysischen Systems hinter oder neben einander liegen, ist nur ein unwesentlicher Unterschied, und ob das abgespaltete Stück zerstört wird oder nicht, ist für das überlebende ebenfalls gleichgültig. Es findet nur der Unterschied statt, dass beim Menschen nicht eben so wie bei den niedern Thieren eine volle Trennung des ganzen Systems in der Art, dass beide Theile fortleben, stattfinden kann. Im Uebrigen stimmen beide Fälle darin überein, dass vor der Spaltung die beiden Theile des Geschöpfes in Eins empfinden, und sich in der psychischen Leistung unterstützen, aber auch der eine Theil den einen andern missen kann, und doch noch dieselbe, nur schwächere, psychische Leistung als vorher giebt.

Unstreitig gehört der organische Zusammenhang der Theile selbst zu den Bedingungen, die zur lebendigen Erhaltung jedes einzelnen, und mithin auch zur Erhaltung der psychophysischen Thätigkeit über der Schwelle darin, beitragen, aber in den höhern Geschöpfen ist diese Solidarität viel stärker als in den niedern.

Könnten beide Hälften eines in der Längsmittellinie getheilten Menschen überhaupt noch fortleben, d. h. die psychophysischen Thätigkeiten noch in beiden Hälften über der Schwelle fortbestehen, so würden wir unstreitig eben so gut die Verdoppelung einer Menschen- als Thierseele durch die Trennung der sich seitlich entsprechenden und vertretenden Hälften erzielen können, als wir

sie bei Thieren durch Trennung der hintereinander liegenden sich entsprechenden Segmente zu erzielen im Stande sind.

Es wäre jedoch müssig, viel darüber nachzudenken, wie sich die beiden Hälften eines getheilten Menschen beim Fortleben verhalten würden, da der Fall nicht zu verwirklichen ist. Unstreitig würden sie mit gleichem Gemüthszustande, gleichen Anlagen, Kenntnissen, Erinnerungen, gleichem Bewusstsein überhaupt beginnen, nach Massgabe aber, als sie in verschiedene Verhältnisse kämen, sich verschieden entwickeln.

Man scheint bisher in Verlegenheit gewesen zu sein, unter welchen Gesichtspunct man die Erfolge der Spaltungsversuche an niedern Thieren fassen soll. Offenbar entstehen zwei Seelen aus einer durch Theilung des Körpers, an dem vorher die eine Seele hing. Also scheint sich der Vorgang nicht anders fassen zu lassen, als dass die Seele mit dem Körper in zwei getheilt wird. Aber der Begriff der Einfachheit der Seele widersprach; und ich habe schon S. 413 angeführt, wie man Seitens der auf diesem Begriffe fussenden Ansicht vom einfachen Seelensitze es vorgezogen hat, statt einer Theilung der Seele das Erwachen einer neuen Seele in der einen der getrennten Hälften anzunehmen, aber auch angegeben, was hindert, dieser Auffassung sich zu fügen.

Die Sache ist die, dass man mit der abstracten Kategorie der Einfachheit nicht ausreicht, die wesentlichen Verhältnisse, unter welche die Seele treten kann, zu decken. So einfach man die Seele nennen mag, so ist doch gewiss, dass die Intensität ihres Bewusstseins zunehmen und abnehmen kann, auf die Hälfte herabkommen, und auf das Doppelte steigen, und ganz unter den Nullpunct sinken kann. Hienach kann man einfach und das Thatsächliche scharf bezeichnend sagen; die Seele wird bei jener Spaltung des Körpers der Zahl nach verdoppelt, der Intensität nach getheilt, doch mit der Möglichkeit des Wiederersatzes des Intensitätsverlustes, den jede durch Abspaltung erlitten hat, wenn die Reproduction ihres Trägers gross genug ist.

Es kann auch der Fall sein, dass von beiden getrennten Theilen blos der eine oberhalb der Schwelle bleibt, der andere ganz darunter sinkt; dann lebt blos der eine fort; so, wenn man ein Stück vom Gehirne abschneidet; oder dass beide durch die Trennung anfangs unter die Schwelle sinken, aber sich allmälig wieder darüber erheben, dann tritt das getrennte Bewusstsein erst

nach einiger Zeit ein; oder dass beide dauernd unter die Schwelle sinken; oder dass, wenn beide getrennte Theile psychophysisch verschieden sind, auch die Qualität des Bewusstseinszustandes für die getrennten Theile eine verschiedene wird.

Unter welchen der verschiedenen möglichen Fälle die Pflüger'schen und so viele verwandte Versuche treten, ob ein Kopf ohne Rumpf, ob ein Rumpf ohne Kopf bei höheren Thierklassen und dem Menschen noch eine Zeit lang empfinden könne, sind Fragen, die nach den Erörterungen im 37. Kapitel noch nicht sicher zu entscheiden sind. Wir wissen bisher weder, ob eine psychophysische Bewegung über der Schwelle bei irgend einem lebenden Geschöpfe in das Rückenmark hineinreichen kann, noch ob sie sich nach Trennung vom Kopfe darüber erhalten kann, noch welche Verschiedenheiten etwa zwischen verschiedenen Thierklassen bestehen; und so sinnreich die angestellten Versuche und darüber gepflogenen Erörterungen sind, so bleibt immer noch die Möglichkeit verschiedener Auslegung übrig.

Zu den Spaltungsvorgängen, welche eine extensive Verdoppelung der Seelen zur Folge haben, gehört die Geburt des Menschen und der höheren Thiere. Nur kommt diese Verdoppelung hier nicht dadurch zu Stande, dass zwei ähnliche Theilsysteme, die über der Schwelle zusammenhängen, getrennt werden, sondern dass ein solches unter der Schwelle, der Organismus des Kindes, von einem solchen über der Schwelle getrennt wird, und durch die Trennung selbst über die Schwelle tritt. Die Reize der Aussenwelt gehören nämlich zu den Bedingungen, welche ein sonst dazu disponirtes System über die Schwelle zu heben vermögen, wie das Erwecken aus dem Schlafe beweist, daher das abgetrennte Kind, ungeachtet ihm durch Trennung des Zusammenhanges mit der Mutter eine Lebensbedingung entzogen wird, doch erst mit dieser Trennung zu erwachen vermag. Bei niederen Thieren tritt an die Stelle der Fortpflanzung durch Geburten zum Theil die freiwillige Spaltung des ganzen Organismus über der Schwelle, und der Unterschied zwischen beiden Fällen hat hienach auch nicht den Charakter eines absoluten.

So viel von den Verhältnissen der psychophysischen Continuität und Discontinuität des Hauptbewusstseins nach räumlicher Beziehung. Nun besteht aber für jedes Individuum im Besondern noch eine Continuität des Hauptbewusstseins durch die

Succession der Zeit, welche sich als Forterhaltung der Identität oder Einheit desselben durch den Zeitlauf ausspricht und den Zusammenhang einer Reihe successiver Phänomene in derselben Seele begründet. Hiebei kann man es auffallend finden, dass das zeitweise Sinken der Hauptwelle im Schlafe unter die Schwelle keine entsprechende Unterbrechung der Continuität des Hauptbewusstseins bei dem Individuum hervorruft, als das räumliche Sinken unter die Schwelle zwischen den Individuen, da sich vielmehr nach jedem neuen Erwachen das neue Bewusstsein in Continuität mit dem alten fühlt. Dieser Unterschied kann mit Wahrscheinlichkeit darauf geschrieben werden, dass die Oscillation jedes psychophysisch thätigen Punctes der Zeit nach continuirlich in sich bleibt, wogegen eine räumliche Continuität wegen der, von der exacten Naturwissenschaft statuirten und nothwendig zu statuirenden atomistischen Disposition der Materie an sich nicht stattfindet, daher auch nur insofern von einer Continuität der Welle oberhalb der Schwelle die Rede sein kann, als die Reihenfolge der psychophysisch thätigen Theilchen oberhalb der Schwelle nicht durch solche unter der Schwelle unterbrochen ist, wobei der Zukunft noch manche genauere Bestimmung zu machen übrig bleibt.

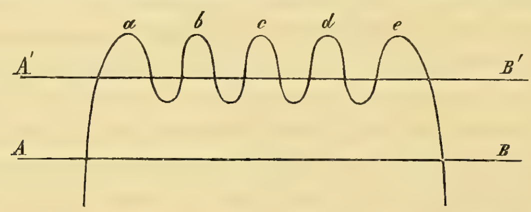
So wenig die Continuität des Hauptbewusstseins in der Zeit durch das Herabsinken der psychophysischen Hauptwelle im Schlafe unterbrochen wird, so wenig ist es der Fall durch den Uebergang auf ganz andere Materien, und durch den Wechsel der Formen, wie sich erfahrungsmässig dadurch beweist, dass der Organismus sich durch den Stoffwechsel fortgehends erneuert, und der Leib des Greisen im Allgemeinen aus ganz anderen und in anderen Formen zusammengefassten Materien besteht, als der des Kindes, ohne dass die Continuität des Hauptbewusstseins irgendwie dadurch unterbrochen wird. Ueberhaupt sind, so weit wir Erfahrungen darüber machen können, nur Möglichkeiten bekannt, dieses Continuum zeitweise unbewusst werden zu lassen, indem die Seele in Schlaf versinkt, aber nicht die Continuität aufzuheben, indem nach jedem Erwachen das frühere Bewusstsein sich identisch mit dem alten verknüpft, und das System aus der neuen Materie das frühere Bewusstsein identisch fortbehält.

Eine Bedingung besteht hiebei. Die Seele kann im Zeitlaufe von einem materiellen Systeme auf ein nach Stoff und Form ganz

anderes übergehen; aber nicht überspringen; sondern die neuen Materien müssen in das alte psychophysische System eintreten, indess die alten austreten, wie im Stoffwechsel allmälig geschieht, oder die alte psychophysische Bewegung muss sich *in continuo* auf neue Materien überpflanzen, wie bei dem Wechsel der Aufmerksamkeit plötzlich geschieht.

Hieran lässt sich eine wichtige Folgerung knüpfen. Der Gedanke, dass wir im Uebergange zu einem künftigen Leben auf andere Planeten, die Sonne, oder in ferne Himmel versetzt werden, d. h. dass unser psychisches Leben sich fortan an das dort vorgehende physische Leben knüpfen werde, hat keinen Boden. Sondern, wenn es eine künftige Fortexistenz giebt, kann sie nur darauf sich gründen, dass die Hauptwelle unseres psychophysischen Systems, an der unser Hauptbewusstsein hängt, von dem Theile des irdischen Systems, an dem sie jetzt hängt, oder in dem sie jetzt die Schwelle übersteigt, auf einen andern Theil oder weitern Theil dieses Systems *in continuo* übergehe, welche Möglichkeiten zu discutiren jedoch hier nicht der Ort ist.

Die Continuitäts- und Discontinuitäts-Verhältnisse, welche für die Hauptwellen stattfinden, können sich für deren Oberwellen wiederholen, und hieran wird natürlicherweise die Unterscheidung und Nichtunterscheidung dessen, was im Bewusstsein ist, zu knüpfen sein. Eine Hauptwelle, die in sich oberhalb der Hauptschwelle *AB* zusammenhängt, kann doch Oberwellen tragen, die unterhalb ihrer Schwelle *A'B'* zusammenhängen; nach folgendem Schema:*)



Dass alle Oberwellen *a*, *b*, *c* ... oberhalb derselben Hauptschwelle in einer Hauptwelle zusammenhängen, ordnet sie demselben Hauptbewusstsein ein und unter, dass sie aber zugleich discontinuirlich über ihrer eigenen Schwelle sind, lässt sie innerhalb dieses Hauptbewusstseins unterscheiden.

*) Diess Schema stellt die Erhebung der Oberwellen über die Schwelle in gleicher Richtung mit der Erhebung der Unterwellen dar, wobei davon abstrahirt ist, dass Oberwellen eben so gut durch Bewegung in entgegengesetzter als gleicher Richtung mit den Unterwellen die Schwelle übersteigen können; worauf es hier nicht ankommt.

Schon früher (Kap. 34) habe ich diese Ansicht in Bezug auf die extensiven Empfindungen geltend gemacht. Bei intensiven, wie bei Tönen, durfte die Unterscheidbarkeit durch die Wirkung der Aufmerksamkeit daran hängen.

Wenn correspondirende Fasern der Netzhaut nur eine identische Empfindung geben, nicht zwei, wenn beide Gehirnhälften sich stets nur in einem Gedanken vereinigen, so werden sie, d. h. die Thätigkeiten in ihnen, nicht nur über der Hauptschwelle, sondern auch über der Oberschwelle zusammenhängen müssen.

Unstreitig hat die Vertheilung der psychischen Leistung auf zwei gleiche Hirnhälften beim Menschen und den höheren Thieren, und auf eine Mehrheit hintereinander liegender oder symmetrisch im Kreise geordneter ähnlicher Segmente bei den niederen Thieren, ihre wichtige teleologische Bedeutung, und es wird damit ein Beispiel zu den unzähligen Beispielen gefügt, die wir in der Einrichtung des Organismus finden können, dass mit geringstmöglichem Aufwande an Mitteln die grösstmöglichen Leistungen erzielt werden, und mit derselben Einrichtung eine Mehrheit von Zwecken zugleich erfüllt wird.

Denn diese Einrichtung erfüllt einmal den Zweck, dass Verletzungen nicht so leicht die psychische Integrität benachtheiligen können, indem ein Theil zur Vertretung und bei vielen Thieren selbst zur Anknüpfung des Wiederersatzes des anderen da ist; sie tritt zweitens bei niederen Thieren als eins der Mittel auf, die Seelen zu vervielfältigen, sie macht drittens nach den Principien, die im 21. Kapitel entwickelt sind, möglich, mit einem gegebenen Quantum psychophysischer Thätigkeit mehr zu leisten, als wenn es auf einen Punct oder in zu engem Raume concentrirt wirken müsste, wobei freilich vorausgesetzt, was noch nicht bewiesen ist, dass die für discret empfindenden Puncte gültigen Gesichtspuncte auch für die *in continuo* empfindenden gültig bleiben.

Schliessen wir die Betrachtungen, die wir in diesem und einem früheren Kapitel an unser Schema geknüpft haben, noch mit einigen Betrachtungen allgemeinster Natur ab, welche in Verbindung mit denen des folgenden Kapitels geeignet sein können, auf die grosse Tragweite der Psychophysik einen Vorblick thun zu lassen.

Unsere Hauptwellen, an denen unser Hauptbewusstsein hängt, tragen Wellen, an denen unsere besonderen Bewusstseinsphäno-

mene hängen. Aber können nicht unsere Hauptwellen ihrerseits als Oberwellen einer grösseren Hauptwelle betrachtet werden? Physisch sind sie es wirklich, warum nicht auch psychophysisch? denn die gesammte Thätigkeit des irdischen Systemes ist unter dem Schema einer grossen Welle darstellbar, wozu die Thätigkeitssysteme der einzelnen organischen Geschöpfe nur als kleine Oberwellen gehören; und die Thätigkeitssysteme der einzelnen Weltkörper sind wieder nur Oberwellen des allgemeinen Systems der gesammten Bewegungen der Natur. Der Stufenbau, der sich in uns hinein fortsetzt, setzt sich auch über uns hinaus fort.

Wenn nun die Oberwellen in uns, an denen die unterscheidbaren Bewusstseinsphänomene in uns hängen, nur discontinuirlich über ihrer Schwelle, aber continuirlich über unserer Hauptschwelle sind, werden nicht auch die Hauptwellen, an denen unser Hauptbewusstsein hängt, nur discontinuirlich über ihrer Schwelle, aber continuirlich über einer tieferen Hauptschwelle sein? Das würde mitführen, dass es zu unserm Hauptbewusstsein noch ein allgemeineres giebt, welches das unsere eben so als seine Besonderheiten umfasst, wie das unserige seinerseits wieder seine Besonderheiten umfasst.

Die Consequenz dieser Auffassung führt zur Ansicht eines in der Natur allgegenwärtigen bewussten Gottes, in dem alle Geister leben, weben und sind, wie er in ihnen, mit, den Weltkörpern inwohnenden, individuellen geistigen Zwischenstufen zwischen ihm und uns, welche die geschöpflichen Geister eben so einheitlich verknüpft in sich tragen, wie sie ihrerseits im göttlichen Geiste getragen werden, und wie die geschöpflichen Geister wieder ihre Sinneskreise und diese ihre Sonderempfindungen in sich tragen. Diese Ansicht kann auf Grund der Analogieen und Zusammenhänge, welche der im Menschen selbst sich schon darbietende Stufenbau gewährt, weiter entwickelt und gestützt werden.

Hiemit tritt die Aussicht auf unsere eigene Fortexistenz nach dem Tode von mehreren Seiten in Beziehung. Besonders nahe liegt folgender Gesichtspunkt:

Wenn ein Bild in unserem Auge, geknüpft an Oberwellen, nach seinem Erlöschen im Auge noch einen Erinnerungsnachklang hinterlässt, welcher eintritt in ein allgemeineres und höheres Reich von Erinnerungen und Gedanken des allgemeinen oder Hauptbe-

wusstseins, so dürfen wir glauben, dass etwas Entsprechendes unseren Hauptwellen begegnen wird, sofern sie ihrerseits Oberwellen über einer tieferen Schwelle sind, und dass unsere Geister somit nach dem Tode eingehen in ein höheres Geisterreich in Gott.

Auch diese Ansicht kann auf Grund von Analogieen und Zusammenhängen, welche unser diesseitiges Leben darbietet, weiter entwickelt und gestützt werden. Es ist aber dieses wie jenes für jetzt vielmehr Sache der Naturphilosophie und einer religiösen Naturanschauung, als Sache der Psychophysik, welche nach ihrem heutigen Stande erst nur Anknüpfungspuncte dazu zu gewähren vermag.

Ausführlich findet man diese Ansichten in meiner Schrift »Zend-Avesta oder die Dinge des Himmels und des Jenseits vom Standpuncte der Naturbetrachtung.« 3 Thle. 1851 und kürzer in der neuen: »Ueber die Seelenfrage« 1860, dargestellt. Der Anfang und die erste Anlage der jetzigen Schrift haben sich selbst erst im Zusammenhange mit den Betrachtungen, die in jenen dargelegt sind, entwickelt; und so mag es natürlich sein, dass sie auf ihrem Wege wieder zu den dort dargelegten Ansichten zurückführt.

XLVI. Frage nach der Natur der psychophysischen Bewegung.

Haben wir auch die wichtigsten Fragen der inneren Psychophysik bis zu gewissen Gränzen behandeln können, ohne anderer Voraussetzungen über die Natur der psychophysischen Bewegung zu bedürfen, als dass sie als körperliche Bewegung die allgemeinsten Verhältnisse körperlicher Bewegung theilt, so mag doch zum Schlusse die Frage nach ihrer Natur noch mit ein paar Worten näher erwogen werden.

Die Frage theilt sich wesentlich in zwei:

1) Kann sich das Psychische nur an die Bewegungen eines besonderen Substrates knüpfen?

2) Kann sich das Psychische nur an eine besondere Art, Anordnung, Form von Bewegungen knüpfen?

Was nun die erste Frage anlangt, so kann man daran denken, und es haben viele daran gedacht, dem Psychischen ein ganz exclusives Substrat unterzulegen, welches eben nur dazu bestimmt sei, die dem Psychischen unterliegenden Bewegungen zu vollziehen, ohne mit irgend einem der bekannten physischen Substrate

identificirt werden zu können, und man hat diesem Substrate wohl den Namen Nervenäther beigelegt.

Der Hauptgrund dazu ist wohl der, dass man keinem der bekannten physischen Agentien oder Substrate zugetraut hat, Träger des Psychischen zu sein; nur sieht man nicht ein, was ein unbekanntes physisches Agens, soll es anders noch unter den physischen Platz greifen, mehr leisten könnte, worauf sein psychischer Zauber ruhen soll. Will man es aber aus der Reihe der physischen Agentien ganz hinausrücken, so geräth man ganz ins Dunkle mit einem Worte, was weder Physisches noch Psychisches bedeuten soll, und verlässt die Grundvoraussetzung der Psychophysik selbst, welche die ist, dass die psychischen Veränderungen gesetzlich mit physischen zusammenhängen; auch hängen sie ja factisch mit solchen zusammen; das Hinausrücken des Substrates in ein hyperphysisches Gebiet leistet also nichts Anderes, als uns den Boden unter den Füssen wegzuziehen, den wir haben.

Unstreitig bleibt, ohne Rückgang auf sehr allgemeine Ansichten, wie wir sie im Eingange dieses Werkes aufgestellt haben, etwas Unerklärtes, und jedenfalls auf dem Gebiete der Psychophysik selbst, die sich blos an factische Gesichtspuncte hält, nicht Erklärliches dabei, wie überhaupt ein physisches Substrat durch seine Bewegungsweise Träger, ja nur äusserer Anreger von Bewusstseinsphänomenen werden kann; aber die Erklärlichkeit wird nicht vermehrt, sondern das Räthselhafte nur um ein Räthsel mehr vermehrt, wenn wir ein neues physisches Agens als seinen Träger fingiren wollen, ohne angeben zu können, was es vor den andern dazu geeignet machen soll, und ohne einen anderen Grund für sein Dasein zu haben, als das Bedürfniss zu erklären, was doch nicht dadurch erklärbar ist.

Bemerken wir weiter: wie soll der supponirte eigenthümliche Nervenäther in die Nerven kommen, und wie soll er im Tode dieselben verlassen, wenn ihm nicht eine allgemeinere Verbreitung über die Nerven und die Organismen überhaupt beigelegt wird? Soll er erstenfalls neu entstehen, letztenfalls vergehen? Dann hört er auf, ein Physisches zu sein.

Allen diesen Schwierigkeiten entgeht man, wenn man annimmt, dass die Bewegungen desselben allgemeinen Aethers, der durch die äussere Natur wie durch die Organismen verbreitet ist, unter gewissen, in unseren Organismen erfüllten, Bedingungen

Empfindung, allgemeiner Bewusstseinsphänomene mitführen können. Auch ist diess wohl die Ansicht der meisten von denen, die überhaupt eine klare Ansicht in diesen Dingen haben.

Vorzugsweise ein imponderables Agens vor den ponderablen Substraten hiezu in Anspruch zu nehmen, können wir durch folgende Puncte veranlasst werden.

Durch die Erfahrung sind wir gebunden, das Nervensystem als Hauptherd unserer psychischen Phänomene zu betrachten. Die Einrichtung desselben ist aber nicht geeignet, ähnliche Bewegungen des Wägbaren, als das Blut in unsern Adern vollzieht, zuzulassen, indess nichts hindert, irgendwelche Bewegungen eines imponderabeln Agens darin anzunehmen. Die Erregbarkeit aller Nerven durch Elektricität, mancher auch durch Licht und Wärme, lässt vermuthen, dass das durch die Bewegung des Imponderabeln anregbare Spiel auch selbst das Unwägbare betreffe; die Phänomene der elektrischen Fische und die Dubois'schen Untersuchungen treten von anderer Seite unterstützend hinzu. Auch erscheint das Nervensystem nur als eine Ergänzung des Kreislaufsystemes, welches tropfbare Flüssigkeiten führt, und des Athemsystems, welches Luft führt, wenn wir es wesentlich bestimmt halten, den Schauplatz für die Bewegungen eines unwägbaren Agens darzubieten.

Von der anderen Seite darf man jedoch nicht übersehen, dass durch die Natur der Nerven moleculare Schwingungen des Wägbaren so wenig ausgeschlossen werden, als des Unwägbaren, und dass in einem Systeme aus wägbaren und unwägbaren Theilen nicht wohl Schwingungen des einen stattfinden können, ohne solche des anderen mitzuführen; dass ferner das Nervensystem nicht ohne Mitwirkung des Kreislaufes thätig sein kann, und eine erhöhte Thätigkeit desselben eine vermehrte Thätigkeit des Kreislaufes und der dadurch unterhaltenen chemischen Processe voraussetzt, bei welchen nothwendig wägbare Theile concurriren: endlich, dass die Natur der Reize nichts entscheidet, indem die Nerven auch durch mechanische und chemische Reize erregt werden können; und es eben so möglich ist, durch Bewegung unwägbarer Agentien das Wägbare als durch Bewegung wägbarer Agentien das Unwägbare in Bewegung zu setzen.

Ich glaube daher, dass in der Erfahrung keine entscheidenden Gründe vorliegen, die Thätigkeit des Nervensystems über-

haupt und mithin auch die psychophysische Thätigkeit desselben allein an das Imponderable zu knüpfen. Hätten aber auch die unwägbaren Agentien einen Vorzug, so bliebe es immer wahrscheinlich, dass sie ihn nicht durch eine Eigenthümlichkeit ihrer Substanz, sondern nur durch ihre Bewegungsweise erhalten, insofern weder so schnelle Schwingungen noch so schnelle Bewegungsfortpflanzungen im Gebiete des Wägbaren als Unwägbaren bekannt sind. Der Umstand, dass aus den psychophysischen Elementarformeln die Masse verschwindet und blos der Bewegungszustand eingeht (Th. II. S. 29 f.), ist in der That sehr geeignet, die Voraussetzung zu unterstützen, dass es überhaupt nur auf den Bewegungszustand in diesem Gebiete ankommt. Ausserdem ist auch die Möglichkeit nicht streng abgewiesen, dass die wägbaren und unwägbaren Stoffe ihren letzten Elementen nach gar nicht verschieden sind, und ihre Verschiedenheit selbst nur auf Verhältnissen der Anordnung und Bewegung ruhe.

Vermuthungen über diese Puncte weiter auszuführen, wäre nutzlos; es genügt, an die Möglichkeiten erinnert zu haben. In jedem Falle, wenn auch die unwägbaren Substanzen durch ihre Bewegungsweise eine bevorzugte Bedeutung für die psychischen Phänomene behalten sollten, wird den wägbaren immer die wichtigste Bedeutung für die Organisation der Systeme bleiben, wodurch die Form dieser Bewegungen bestimmt wird. Und gewiss wird in einer künftigen allgemeinsten mathematischen Fassung beides, Organisation und Bewegung, nicht unabhängig von einander zu fassen und zu behandeln sein.

Nach jeder Ansicht, die wir hegen mögen, bleibt das Substrat des Psychischen ein durch die ganze Welt verbreitetes und durch allgemeine Kräfte zu einem System verknüpftes, und die zweite Frage tritt uns nun entgegen, ob sich das Psychische nur an eine besondere Art, Anordnung, Form von Bewegungen knüpfen kann.

Da wir wissen, dass Bewegungen, die factisch geeignet sind, Bewusstseinsphänomene mitzuführen, doch nur unter einen gewissen Grad der Lebhaftigkeit zu sinken brauchen, damit das Bewusstsein erlösche; so bietet sich uns hiemit natürlicherweise die Möglichkeit dar, die Quantität des Bewusstseins, wozu Dasein und Nichtdasein gehört, überhaupt nur von der Quantität, nicht aber von der Qualität der psychophysischen Thätigkeit

abhängig zu machen, diese vielmehr nur mit der Qualität der Bewusstseinsphänomene in Beziehung zu setzen.

Hienach würde jede Bewegung, unter welcher Form und an welchem Substrate sie auch auftritt, wenn sie mit ihrer Geschwindigkeit entweder erster oder zweiter Ordnung (wozwischen nach dem 30. und 32. Kapitel noch die Wahl ist), einen gewissen Werth übersteigt, einen Beitrag zum Bewusstsein, sei es zu unserm oder anderm oder einem allgemeinen Bewusstsein geben; und jede besondere Bewegungsform, d. h. Zusammenordnung und Folge von Geschwindigkeitsmomenten im Stande sein, ein psychisches Phänomen von zugehöriger Form zu tragen, wenn die in diese Form eingehenden Momente gemeinsam einen gewissen Grössenwerth übersteigen.

Auf solche Weise ersparen wir uns den magischen Zauber, die *qualitas occulta*, welche nur diese oder jene exceptionelle Bewegungsform zur psychischen Leistung befähigen soll, und wird eine allgemeine, nicht blos particulär für Menschen und Thiere gültige, Psychophysik möglich werden, in entsprechendem Sinne, als wir eine allgemeine, für die ganze Welt gültige Physik und Mechanik haben. Wir werden die Gesetze der Psychophysik am Menschen erforschen und werden sie auf die Welt übertragen können. Bewusstes und Bewusstloses in der Welt wird nur zwei Fälle derselben Formel darstellen, welche zugleich massgebend für ihr Verhältniss und ihren Uebergang in einander ist.

Eine solche Auffassung wird sich freilich nicht anders beweisen lassen, als dadurch, dass sie in einer entwickelten Psychophysik volles Genügen gewährt.

Diesen Beweis kann ich nicht schon jetzt führen; doch glaube ich, dass er sich mit fortschreitender Entwickelung der Psychophysik von selbst führen wird, deren ersten Versuch ich mit dieser fernen Aussicht schliesse.

Historisches und Zusätze.

XLVII. Historisches.

Thatsachen im Gebiete der Psychophysik sind von jeher beobachtet worden, und man kann insofern nicht von einem bestimmten Anfange dieser Lehre sprechen. Wenn ich aber jemand nennen sollte, der eine Reihe solcher Thatsachen zuerst so aufgefasst, so combinirt, und selbst so viel neue Thatsachen in solchem Zusammenhange hinzugefügt hat, dass die Psychophysik in die Bahn gelenkt worden ist, eine zusammenhängende exacte Wissenschaft zu werden, so wüsste ich niemand anders, als E. H. Weber zu nennen, dem mit grösserer Klarheit und in grösserer Allgemeinheit als irgend Jemand vor ihm nicht nur überhaupt vorgeschwebt hat, dass hier ein Gebiet für Masse vorliege, sondern der auch diesen Gedanken in grösserer Ausdehnung und erfolgreicher als Jemand vor ihm zur Ausführung gebracht hat. Abgesehen von der Bereicherung der Psychophysik durch viele specielle Thatsachen, verdanken wir ihm den ersten zugleich klaren und etwas allgemeinen Ausspruch des psychophysischen Grundgesetzes mit erfahrungsmässigen Bewährungen, und die erfolgreiche und fruchtbare Durchführung einer Methode des Masses der Empfindlichkeit durch fast alle Kreise der Sinnesempfindung, welche zur Feststellung dieses Gesetzes selbst beigetragen hat.

Seine Untersuchungen sind theils in seinen *Programmata collecta*, Fasc. III. 1851, theils hieraus zusammengestellt und vielfach erweitert in seiner Schrift über Tastsinn und Gemeingefühl (abgedruckt aus Wagner's physiologischem Wörterbuch) enthalten, deren Titel viel zu eng für ihren Inhalt ist. Einige Nachträge finden sich in den Berichten der sächs. Societät. 1852. S. 85 ff.

In soweit sich seine Angaben und Versuche auf das psychophysische Grundgesetz, dem ich seinen Namen beigelegt, beziehen, sind sie von mir im 9. Kapitel mitgetheilt, und eben da der anderweiten Verdienste früherer Beobachter um die Feststellung dieses Gesetzes, als namentlich Bouguer, Arago, Masson, Steinheil, welche sich sämmtlich auf die Lichtempfindung beziehen, ausführlich gedacht worden. Sollte nun hier eine vollständige Geschichte der Psychophysik gegeben werden, so wür-

den noch viele Namen zu nennen sein, die sich an schätzbare Untersuchungen im Gebiete der Psychophysik knüpfen. Und zwar dürfte unter den neuesten Forschern nach allgemeiner Uebereinstimmung Helmholtz wegen seiner vielen scharfsinnigen Untersuchungen und wichtigen Entdeckungen im Gebiete des Lichtes, Schalles, der Nervenlehre und Dubois wegen seiner bahnbrechenden Untersuchungen über die im Nervensysteme waltenden elektrischen Kräfte vor Allem zu nennen sein, indem des Letzteren Untersuchungen, wenn auch für jetzt erst in der Physiologie zu verwerthen, doch einst auch zu den wichtigsten Unterlagen der inneren Psychophysik gehören dürften. Indem sich aber diese Schrift vorzugsweise auf die psychische Masslehre bezieht, beschränke ich mich auch folgends darauf, das, was derselben darin vorausgegangen ist, sie selbst hervorgerufen und ihren Gang bestimmt hat, näher zu bezeichnen.

Zu den experimentalen Präcedenzien derselben in dieser Hinsicht ist der mathematischen durch die schon im Vorworte zum ersten Theile dieser Schrift genannten Forscher Bernoulli (Laplace, Poisson), Euler (Herbart, Drobisch), Steinheil (Pogson) zu gedenken, sofern dieselben sämmtlich die mathematische Function, wodurch psychische und physische Grössen im Sinne des Weber'schen Gesetzes verknüpft werden, schon vorlängst aufgestellt haben, Bernoulli in Bezug auf die Abhängigkeit der *fortune morale* von der *fortune physique*, Euler in Bezug auf Abhängigkeit der Empfindung der Tonhöhen von den Schwingungszahlen, Steinheil in Bezug auf die der Sterngrössen, welche sich in Empfindungsgrössen übersetzen lassen, von den photometrischen Werthen der Sterne.

Das Bernoulli'sche Princip in Betreff der Abhängigkeit der *fortune morale* von der *fortune physique*, zuerst im J. 1738 von Bernoulli aufgestellt, ist Th. I. S. 236 besprochen, und der Nachfolge, welche Bernoulli darin durch Laplace und Poisson gefunden, gedacht worden.

Vielleicht befremdet es, diess Princip hier für die Psychophysik in Anspruch genommen zu finden. In der That aber muss es einer hinreichend allgemeinen Fassung derselben untergeordnet werden. Denn eine *fortune morale* bedeutet doch, wie schon früher geltend gemacht, zuletzt nichts Anderes, als den Genuss, den die Seele von äusseren Glücksgütern hat, die *fortune physique* die

Mittel, die von Aussen her diesen Genuss bewirken, und erstere nimmt sonach ganz die Stelle der Empfindung, letztere die des Reizes ein; auch wird die *fortune morale* ganz in demselben Sinne als Function der *fortune physique* von Bernoulli behandelt, als von uns die Empfindung bezüglich des Reizes, und es ist dasselbe Gesetz, was beide verknüpft.

Die Feststellung der Function für die Abhängigkeit der Empfindung der Tonintervalle von den Verhältnissen der Schwingungszahlen durch Euler ist in dessen *Tentamen novae theoriae mus.* 1739. p. 73 geschehen, also nur um eine Jahreszahl von späterem Datum als die Aufstellung des Bernoulli'schen Princips. Später ist Herbart *) unabhängig von Euler zu derselben Auffassung der Tonintervalle gelangt, und diese endlich von Drobisch **) nicht nur aufs Neue in allgemeiner Weise begründet, sondern auch das Interesse derselben wiederholt hervorgehoben und weitere Entwickelungen daran geknüpft worden, von denen wir eine der interessantesten Th. II. S. 180 ff. reproducirt haben, ohne dass diese Untersuchungen bisher die verdiente Aufmerksamkeit gefunden.

Die Verknüpfung der Sterngrössen mit den photometrischen Intensitäten der Sterne durch eine logarithmische Function ist unabhängig von einander durch Steinheil***) (1837) und Pogson†) (1856) nicht zwar direct auf das Weber'sche Gesetz, aber auf das damit zusammenhängende erfahrungsmässige Statthaben einer geometrischen Reihe der photometrischen Intensitäten der Sterne zur arithmetischen Reihe der Grössen gegründet worden.

Die Aufstellung der logarithmischen Function nach diesen Beziehungen ist von sämmtlichen genannten Forschern freilich nicht aus dem Gesichtspuncte eines psychischen Masses, sondern nach anderweiten particulären Gesichtspuncten geschehen; und seither auch nicht auf ein psychisches Mass bezogen worden, was

---

*) Hauptpuncte der Metaphysik. Götting. 1807. §. 14. (Werke III. 46.)

**) Abhandl. der Jablon. Gesellsch. 1846. S. 109 und Abhandl. d. Kön. Sächs. Gesellsch. 1852. Band IV. S. 1. (Pogg. Ann. XC. 375.)

***) Elemente der Helligkeitsmasse in den Abhandl. d. baier. Akad. 1837. Band II. S. 22.

†) Notices of the royal astr. Soc. 1856. p. 14, hienach in den Berichten der sächs. Soc. 1859. S. 68.

sich aus der Natur der Untersuchungen und Fälle, welche zur Aufstellung dieser Function führten, leicht erklärt.

So ist selbstverständlich, dass, wenn der logarithmische Ausdruck für die Abhängigkeit der *fortune morale* von der *fortune physique* gegenwärtig als unter dem allgemeinen psychischen Massprincipe begriffen angesehen werden kann, dieses schon von anderer Seite her begründet sein musste, aber nicht dadurch begründet werden konnte.

Die Empfindung der Tonintervalle nach ihrer Abhängigkeit von den Verhältnissen der Schwingungszahlen zu messen, konnte natürlich überhaupt kein Anlass sein, da die Empfindung der Tonintervalle, ausnahmsweise von anderen psychischen Grössen, ihr Mass schon in sich hat; Niemand aber eine Elle, auf der die Zolle schon abgetheilt stehen, durch eine andere erst zu messen sucht, wo sie nicht abgetheilt stehen. Anstatt, dass es sich also hier handeln konnte, ein Mass des Psychischen durch das Physische erst zu suchen, galt es nur, ein schon unabhängig von einander gegebenes physisches und psychisches Mass auf einander zu beziehen. So ist in der That die Aufgabe von Euler gefasst worden, als welcher vor Eingehen auf diese Beziehung, nach Rücksprache mit den Verhältnissen der Empfindung, sagt (p. 72): »Ex quo intelligitur, intervallum ita esse definiendum, ut sit mensura discriminis inter sonum acutiorem et graviorem«, und sich unabhängig von der Rücksicht auf die Schwingungsverhältnisse zu zeigen bestrebt, dass die Summe der empfundenen Intervalle zwischen den Tönen a und b, b und c dem Intervalle zwischen a und c gleich gesetzt werden könne.

Auch Herbart und Drobisch machen zwar von der mathematischen Beziehung zwischen der Empfindung der Intervalle und den Schwingungsverhältnissen Gebrauch, ohne aber das Mass der ersten erst darin zu suchen und diese Beziehung in ihrer mathematischen Psychologie im Sinne eines psychischen Masses zu verwerthen; es dürften aber die Entwickelungen von Drobisch Alles enthalten, was sich für die Lehre der Tonintervalle insbesondere aus dieser Beziehung folgern lässt.

Was von den Tonintervallen, gilt in gewissem Sinne auch von den Intervallen der Sterngrössen. Das geübte Auge der Astronomen hatte nach einer anderen Exception diese Intervalle schon ohne Rücksicht auf die unterliegenden photometrischen Verhält-

nisse zu bestimmen vermocht; es galt nicht erst, das Mass der Lichtempfindung, sondern nur seine Beziehung zu dem von anderer Seite gegebenen physischen Masse zu finden und für die Astronomie praktisch zu verwerthen; und nach der conventionellen Weise, die Sterngrössen zu reihen, nahm der Ausdruck dieser Beziehung sogar gerade den entgegengesetzten Sinn an, als es hätte der Fall sein müssen, wäre die Bedeutung eines Empfindungsmasses darin gesucht worden, sofern die Sterngrössen danach abnehmen, während die photometrischen Intensitäten zunehmen.

Hienach darf man sagen, dass das Problem des psychischen Masses in gewissem Sinne früher gelöst als gestellt war, sofern in der Aufstellung der logarithmischen Function durch die genannten Forscher die Lösung doch schon enthalten war.

Bis zu gewissen Gränzen freilich nur; denn einmal bezog sich die Lösung blos auf einige beschränkte Gebiete, ohne Gesichtspuncte und Thatsachen, welche eine Verallgemeinerung gestattet hätten; zweitens stützte sich die Lösung schlechthin nur auf das Weber'sche Gesetz ohne Rücksicht auf die Beschränkungen, denen dasselbe unterliegt, und ohne ein verallgemeinerndes Princip auch für solche Fälle, wo dieses Gesetz nicht gilt; drittens war, wegen fehlender Rücksichtnahme auf die Thatsache der Reiz- und Unterschiedsschwelle, das Mass blos für Empfindungsunterschiede, nicht für absolute Empfindungen und empfundene Unterschiede gegeben, hienach blos die Unterschiedsformel, nicht Massformel und Unterschiedsmassformel aufgestellt; und viertens fehlte es an Gesichtspuncten, das Mass oder Massprincip aus der äusseren in die innere Psychophysik zu übertragen und hiemit an Grundgesichtspuncten für diese selbst.

Nach diesen Beziehungen, so wie durch eine genauere Feststellung und Erweiterung der psychophysischen Massmethoden, glaube ich, dass die Psychophysik in dieser Schrift erweitert worden ist; mit dieser Erweiterung haben sich eine Menge neuer Aussichten, aber zugleich neue Probleme aufgethan, die zum Theil hier angegriffen sind, wie die Elementarconstruction des Empfindungsmasses, die Untersuchung, an welchen inneren physischen Verschiedenheiten die psychischen Verschiedenheiten der verschiedenen Sinnesgebiete hängen, die Repräsentation einiger Hauptverhältnisse der inneren Psychophysik, aber noch weit entfernt sind von einer vollständigen Lösung.

Hienach dürfte es noch einiges Interesse und selbst manche Puncte der Belehrung darbieten, wenn ich den Anfang und Gang, den diese ganze Untersuchung genommen, etwas näher bezeichne.

Um mit einem Vergleiche anzufangen: man denke sich Jemand, der auf einer Kreisperipherie steht; er sucht eine Sache; sie liegt einen Schritt von ihm; aber er steht mit dem Rücken dagegen und durchläuft den ganzen langen Kreis, bis er endlich, nach Ueberwindung vieler Mühen bei der gesuchten Sache angelangt, mit Verwunderung sieht, dass er sich nur umzudrehen brauchte, um sie gleich zu haben, und freilich nicht ganz dasselbe darin zu haben, als er sich anfangs dachte. So ergieng es mir mit der Aufsuchung des psychischen Masses. Doch darf ich den Weg, den ich dazu zurückgelegt, nicht bedauern; denn dieser Weg hat mich die ganze Tragweite des Massprincipes erkennen lassen, was der kurze Weg vom Weber'schen Gesetze und der Euler'schen Formel zum allgemeinen psychischen Massprincipe nicht vermocht hätte. Soweit ich danach rückwärts gehen musste, soweit führt es vorwärts.

Von jeher der Ansicht von einem durchgreifenden Zusammenhange zwischen Leib und Seele zugethan und diesen in der Form einer doppelten Erscheinungsweise desselben Grundwesens vorstellend, wie ich im 1. Kapitel dieser Schrift kurz dargelegt habe, stellte sich mir im Laufe der Abfassung einer Schrift (Zend-Avesta), welche auf dieser Ansicht fusst, die Aufgabe dar, ein functionelles Verhältniss zwischen beiden Erscheinungsweisen zu finden, oder mit anderen Worten, in entsprechender Weise, als die Physik das Abhängigkeitsverhältniss der Farbe und Intensität des Lichtes, der Tonhöhe und Tonstärke von äusseren physischen Verhältnissen festgestellt hat, so dasselbe von den inneren physischen Verhältnissen festzustellen, an welche sich die Empfindung unmittelbar knüpft.

Zunächst die Aufmerksamkeit auf die quantitativen Verhältnisse richtend, sofern auch die Physik alle Qualitäten von quantitativen Verhältnissen abhängig macht, und ohne noch eine klare Vorstellung vom Masse psychischer Grössen zu haben, dachte ich zuerst daran, die Intensität der geistigen Thätigkeit könne wohl der Aenderung der Stärke der ihr unterliegenden körperlichen Thätigkeit, die ich durch ihre lebendige Kraft als gemessen ansahe, proportional gehen. Diese Idee trug ich lange mit mir herum;

aber sie führte zu nichts, und ich liess sie endlich liegen. Später kam ich darauf, gewisse Grundverhältnisse zwischen Leib und Seele und zwischen niederem und höherem Geistigen durch das Verhältniss zwischen arithmetischen Reihen niederer und höherer Ordnung schematisch zu erläutern (vgl. Zend-Avesta II. 334); zu demselben Zwecke boten sich, in mancher Beziehung noch passender, geometrische Reihen dar. Die Idee, statt einer blos schematischen, gewisse Verhältnisse wohl erläuternden, aber nicht exact treffenden Darstellung den Ausdruck für das wirkliche Abhängigkeitsverhältniss zwischen Seele und Körper zu gewinnen, drängte sich mir hiebei von Neuem auf; aber das Schema der geometrischen Reihen führte mich nun (22. Oct. 1850 Morgens im Bette) durch einen etwas unbestimmten Gedankengang darauf, den verhältnissmässigen Zuwachs der körperlichen lebendigen Kraft, oder $\frac{d\beta}{\beta}$, wenn β die lebendige Kraft bedeutet, zum Masse des Zuwachses der zugehörigen geistigen Intensität zu machen. Hiezu fiel mir ein, dass, wenn die lebendige Kraft des Körpers durch Summation ihrer absoluten Zuwüchse von einem bestimmten Anfangswerthe an entstanden gedacht werden kann, auch wohl die Seele das den verhältnissmässigen Zuwüchsen der körperlichen Bewegung in ihr Zugehörige summiren werde, die psychische Intensität also als Integral absoluter psychischer Zuwüchse angesehen werden könne, welche den verhältnissmässigen Zuwüchsen auf körperlicher Seite zugehören. Hiemit war die Fundamentalformel und als Integral derselben die Massformel sofort gegeben. Als erste Bestätigung fiel mir gleich ein, dass die Verstärkung der Lichtempfindung nach alltäglicher Erfahrung hinter der Verstärkung des physischen Lichtreizes zurückbleibt und überhaupt gegebene Zuwüchse zu Reizen um so schwächer empfunden werden, zu je stärkeren Reizen sie entstehen, ohne dass ich noch den genauen Ausdruck dieser Thatsache im Weber'schen Gesetze kannte, womit erst eine scharfe Bewährung der Formel möglich wird. Doch schien sich mir mit dieser ersten noch sehr im Allgemeinen sich haltenden Bestätigung auf einmal, ich gestehe es, eine ungeheure Perspective zu eröffnen; und noch heute sehe ich diese Perspective vor mir, nachdem mit dieser Schrift erst ein kleiner Schritt in das Gebiet gethan ist, das sie eröffnet.

Anfangs machte mir der Umstand zu schaffen, dass nach der

Massformel die Empfindung γ schon eher verschwindet, als die lebendige Kraft β, wovon sie abhängt, bis ich in den Phänomenen des Schlafes und der unbewussten Empfindungen diesen Umstand repräsentirt und hiemit eine neue auffallende Bestätigung der Formel fand, welche meine Ueberzeugung von der Triftigkeit und Fruchtbarkeit derselben erheblich verstärkte. Dazu erinnerte ich mich aus der Abhandlung von Drobisch (1846), dass Euler, Herbart und Drobisch zwar nicht für Intensität der Empfindung, aber für Höhe der Töne zu wesentlich derselben Function gelangt waren, auf die ich durch jene Betrachtungen geführt worden, und wenn schon Beides nicht gleichbedeutend erschien, so lag immerhin ein unterstützendes Moment darin, da doch auch die Höhe der Töne ein quantitatives Moment enthält. Durch die gemeinsame Unterordnung der Höhe und Stärke unter dieselbe Function erschien mir zugleich die Sicherheit und Allgemeinheit derselben verstärkt.

Mit all' dem war freilich noch kein psychisches Mass begründet; sondern die ganze Betrachtung litt vielmehr an dem Mangel eines scharfen Fundamentalbegriffes für das psychische Mass. Ich nahm an, die Zuwüchse der Empfindung gehen den relativen Zuwüchsen der lebendigen Kraft der psychophysischen Bewegung oder des sie anregenden Reizes proportional; aber womit beweist sich, ja was ist überhaupt nur darunter zu verstehen, dass sie ihnen proportional gehen, so lange wir noch keinen psychischen Massstab haben; was bedeuten die auf eine solche Annahme gegründeten Formeln $d\gamma = K\frac{d\beta}{\beta}$ und $\gamma = k\log\frac{\beta}{b}$, so lange diess nicht der Fall ist?

In der Aufstellung der Function für die Tonhöhen durch Euler und seine Nachfolger war diese Schwierigkeit nicht gehoben, weil sie dabei noch gar nicht zu Tage trat. Euler's Formel bezieht sich überhaupt nicht auf absolute Grösse der Empfindung, sondern auf Unterschiede derselben, nicht auf Stärke, sondern auf Höhe; die Unterschiede der Tonhöhe haben aber, wie schon bemerkt, sehr verschieden hierin von den Unterschieden der Intensität, ihr deutliches Mass in sich; niemand zweifelt, dass der Unterschied der Empfindung von einer Octave zur anderen gleich gross ist, und die Anwendung dieser Zolle des musikalischen Massstabes mit ihren Unterabtheilungen ist jedem geläufig. Daher

genügte es auch für Euler, um zu zeigen, dass die Summe der empfundenen Intervalle zwischen den Tönen *a* und *b*, *b* und *c* dem Intervalle zwischen *a* und *c* gleich gesetzt werden könne, sich auf die unmittelbare Erfahrung eines Jeden zu berufen, wie von ihm geschieht. Aber auf welche Erfahrung liess sich provociren, wenn es galt, die entsprechende Beziehung für die Intensität der Empfindung in Anspruch zu nehmen, um ein Mass derselben, welches sie nicht von selbst in sich trägt, auf diese Beziehung zu begründen. Die Untersuchung Steinheil's über die Sterngrössen war mir noch nicht bekannt, und würde hier wenig gefruchtet haben, da sie nicht sowohl auf einem Gesetze, als auf einer Convention über die Reihungsweise der Sterngrössen fusste, von welcher nicht bewiesen war, dass sie mit einem psychophysischen Gesetze zusammentrifft; wie denn Steinheil selbst seine Formel nicht mit dem Weber'schen Gesetze in Beziehung gesetzt hat.

Die Fundamentalformel und Massformel wenn schon aufgestellt, schwebten also so zu sagen noch in der Luft.

Von vorn herein nun suchte ich der Schwierigkeit durch folgende Betrachtung zu begegnen. Abnahme und Zunahme, Gleichheitsfälle, Gränzfälle im Empfindungsgebiete lassen sich beurtheilen, ohne noch ein Mass der Empfindung zu haben, unsere Formeln aber schliessen manche Folgerungen bezüglich solcher Fälle ein, wie, dass die Empfindung bei einem endlichen Reizwerthe verschwindet und bei hohen Reizgraden für einen gegebenen Reizzuwachs verhältnissmässig wenig wächst. Sofern sich nun diese Folgerungen der Formeln noch ohne Mass der Empfindung in der Erfahrung bestätigen, können wir ein Mass auf diese Formeln selbst gründen, indem ein allgemeines Zutreffen in jenen Beziehungen selbst nur unter Voraussetzung von richtigen, d. h. uns richtig in der Erfahrung orientirenden, Massbeziehungen zwischen Reiz und Empfindung in den Formeln stattfinden kann. Es wird also, so sagte ich mir, nur darauf ankommen, die schon ohne Mass bewährbaren Folgerungen der Formeln möglichst gut und in möglichst weiter Ausdehnung zu constatiren, um damit auch die Massbeziehung zwischen Reiz und Empfindung, welche in den Formeln mit eingeschlossen ist, für constatirt zu halten.

Noch jetzt halte ich diese Betrachtung im Wesentlichen nicht für unstatthaft, doch fehlte es ihr, wie ich gern gestehe, an der Schärfe, welche ich schliesslich (Kap. 7, 17, 31) der Begründung

des psychischen Masses glaube durch die Zurückführung auf die Beobachtung von Gleichheitsfällen kleiner Empfindungsdifferenzen in den verschiedenen Theilen der Reizskala gegeben zu haben; auch waren die schon ohne Mass bewährbaren allgemeinen Folgerungen der Formeln bei Weitem nicht so ausgedehnt, um den Gegenstand als hinreichend gestützt anzusehen.

Inzwischen übersandte ich, nachdem der Gegenstand so weit gediehen war, schon im J. 1850 dem Prof. W. Weber in Göttingen eine Abhandlung darüber, mit der Bitte um ein Urtheil darüber, wobei ich unter Anerkenntniss der noch sehr grossen Mangelhaftigkeit in Begründung und Ausführung des Gegenstandes doch die Hoffnung aussprach, die Idee möge »eine glückliche« sein.

Unstreitig wird man nicht ohne Interesse und Belehrung einen Passus seiner Erwiederung darauf lesen, der für mich selbst massgebend im ganzen Fortgange der Untersuchung geworden ist.

»Es macht mir (schreibt er unter dem 12. Dec. 1850) ein Privatvergnügen, Ihre Arbeit zu lesen, und ich lasse dabei für mich die Frage ganz dahingestellt, welchen Eindruck die Arbeit auf Andere hervorbringe und masse mir noch weniger an zu beurtheilen, in wiefern die Wissenschaft dadurch wesentlich weiter gefördert werde. Soll ich darüber etwas sagen, so scheint mir die Grundidee im Ganzen richtig und scharfsinnig durchgeführt, aber ich würde vor der Hand noch Bedenken tragen, sie eine glückliche zu nennen. Unter glücklich verstehe ich nämlich, wenn die Idee mit der Entdeckung neuer Facta zusammentrifft, die einer präcisen Auffassung fähig sind und der Idee zur besonderen Stütze gereichen. Die Idee der Wellentheorie des Lichtes, wie sie Euler vortrug, nenne ich scharfsinnig und richtig, aber nicht glücklich; dieselbe Idee, wie sie von Fresnel reproducirt wurde und mit der Entdeckung der Interferenzerscheinungen zusammentraf, nenne ich glücklich. In Ihrem jetzigen Gebiete ist die Entdeckung solcher Facta vielleicht sehr unwahrscheinlich, aber doch möglich, wie vorhandene Facta beweisen, z. B. dass Quinte und Quarte sich zur Octave, grosse Terz und kleine Terz genau zur Quinte ergänzen, die auf unmittelbarer Tonempfindung beruhend von allen akustischen Theorien unabhängig dastehen. Nur durch solche Facta, durch die sie gestützt werden, fassen jene Ideen wirklich festen Fuss in der Wissenschaft. Wie nun aber Euler die Idee

der Wellentheorie entwickelt hat, ehe solche besonders stützende Facta vorlagen, eben so ist Ihnen die Entwickelung Ihrer Idee und die Benutzung des Vorhandenen zu Ihrer Unterstützung gestattet! Der wirkliche Erfolg wird aber davon abhängen, ob Sie das Glück haben, dass die stützenden neuen Facta sich bald dazu finden. So lange diess nicht der Fall ist, muss die Entwickelung selbst mehr allgemein gehalten werden.«

Frappirt durch die Triftigkeit dieser von einer tiefen Einsicht dictirten Bemerkungen begnügte ich mich damals, jene Idee beiläufig und kurz in einer Schrift mitzutheilen, welche nicht den Charakter exacter Untersuchung beansprucht*), suchte aber seitdem immer nach jenen Factis, welche W. Weber mit Recht foderte, die Idee zu einer glücklichen zu machen, lange, ohne solche finden zu können. Endlich fielen mir als Fundamentalversuche zur genaueren Bewährung der, früher auf unbestimmtere Betrachtungen begründeten, Formel $d\gamma = \frac{Kd\beta}{\beta}$, welche als Fundamentalformel den Ausgangspunct des Masses bildet, jene Versuche mit dem Lichte ein, die man im 9. Kapitel dargestellt findet; daran knüpfte ich bald entsprechende Gewichtsversuche, welche mich seitdem mehrere Jahre beschäftigt haben; dann entdeckte ich, dass das, was ich suchte und erst mühsam erarbeitet zu haben glaubte, in dem von mir bisher übersehenen klaren Ausspruche und erfahrungsmässigen Beweise des Gesetzes, um was es mir zu thun war, durch den Bruder dessen, der mir jenen Wink gegeben, schon bis zu gewissen Gränzen vorhanden war; die Unterstützung Volkmann's, der Fund der Masson'schen Versuche, das Resultat der Untersuchung der Schätzung der Sterngrössen, trat hinzu, das Gebiet der erfahrungsmässigen Bewährungen des Weber'schen Gesetzes zu erweitern, und die Berücksichtigung eines wenig beachteten Datums alltäglicher Erfahrung, an dem doch die ganze Nachtseite der Seele hängt, hat die noch fehlende Ergänzung zu den erfahrungsmässigen Unterlagen geliefert, welche mir nöthig schienen, die psychophysische Massfunction zu begründen. Dazu gelang es, die Methode der richtigen und falschen Fälle und die Methode der mittleren Fehler zu psychophysischen Massmethoden zu erheben und als solche zu verwerthen, und hiemit die Mittel

*) Zend-Avesta II. S. 368.

zur allgemeineren Feststellung der experimentalen Unterlagen zu erweitern.

Möchte nun dieser mühevolle Weg hingereicht haben, die Idee des psychischen Masses zu einer »glücklichen« zu machen.

Wie man sieht, war der Gang, der zum psychischen Massprincipe geführt hat, der umgekehrte, als den seine Darstellung hier eingeschlagen hat. Es war ein Gesichtspunct der inneren Psychophysik, der dazu den ersten Anlass gab, und die Thatsachen der äusseren Psychophysik wurden anfangs blos subsidiär zugezogen, jenen Gesichtspunct zu stützen. Hier ist der Ausgang von vorn herein von der äusseren Psychophysik genommen und nur zuletzt einige Schritte in die innere Psychophysik hineingethan worden. Die Aufgabe stellte sich Anfangs gar nicht unter dem Gesichtspuncte dar, ein psychisches Mass zu finden, sondern eine functionelle Beziehung zwischen Physischem und Psychischem zu suchen, welche die allgemeinen Abhängigkeitsverhältnisse derselben von einander zutreffend repräsentirt. Hier ist das psychische Mass, was auf diesem Wege gefunden ward, zur Unterlage einer Lehre von diesen Beziehungen gemacht worden, was unstreitig der angemessenere und triftigere Gang ist.

So wenig ich das Glück hatte, diesen Gang von vorn herein einzuschlagen, so wenig ist es mir gelungen, die einfachsten Grundpuncte desselben gleich anfangs zu dem Grade der Klarheit und Evidenz zu bringen, den wenigstens der grössere Theil derselben hier, wie ich hoffe, darbieten wird, und schwerlich wird man es den meisten Kapiteln dieser Schrift ansehen, wie viele Mühe und Umarbeitung es dazu gekostet hat. Auch hierüber will ich Einiges anführen.

Die Deutung des positiven und negativen Vorzeichens der psychischen Werthe auf Bewusst und Unbewusst bot sich leicht als eine nothwendige dar, und so glaubte ich anfangs, sie als eine allgemein anwendbare fassen zu müssen. Aber auf den allgemeinen Fall der Empfindungsunterschiede passt diese Deutung nicht; und diess erschien mir als eine bedenkliche mathematische Incongruenz, die doch, wie ich glaube, in den Erörterungen des 23. Kapitels sich vollkommen gehoben zeigt. — Lange machte es mir Verlegenheit, dass die Summation positiver mit negativen Bewusstseinswerthen für verschiedene Puncte, Räume oder Zeiten unbrauchbare Resultate giebt, indess doch die Summation positiver

und negativer Werthe für sich geschehen kann. Aber die Erörterungen des 20. Kapitels zeigen meines Erachtens einleuchtend genug, dass diess vielmehr in die bekannten Anwendungsweisen der Mathematik so vollkommen hineintritt, dass man selbst eine Stütze ihrer Anwendbarkeit auf psychische Grössen darin sehen könnte. — Dass der Zuwachs eines Reizes ganz verschieden zu fassen sei, je nachdem er dem Reize auf demselben Puncte oder auf einem anderen Puncte zuwächst, erstenfalls als Zuwachs unter dem Logarithmuszeichen, zweitenfalls als Logarithmus des Zuwachses, hat sich mir erst nach mancher vergeblichen Bemühung, diesen Unterschied zur Klarheit zu bringen, herausgestellt (vgl. das 22. Kapitel). — Eine der schwersten und die längste Zeit mich verwirrenden Unklarheiten, die selbst erst im Laufe des Druckes dieses Werkes vollständig verschwunden ist, doch glücklicherweise keinen wesentlichen Einfluss auf die früheren Kapitel desselben gehabt hat, lag darin, dass ich die, nach der Darstellung im 22. Kapitel vielleicht ganz selbstverständlich erscheinende, Unterscheidung zwischen Empfindungsunterschieden im engeren Sinne und empfundenen Unterschieden nicht klar zu machen wusste, ohne welche Unterscheidung die Bedeutung der Unterschiedsschwelle unklar blieb, und die Unterschiedsmassformel neben der Unterschiedsformel nicht sicher aufzustellen war. In der Elementarconstruction des psychischen Masses und den Hauptkapiteln der inneren Psychophysik habe ich vielfach über Grundvorstellungen geschwankt, und ich darf mich nicht rühmen, hier alles Schwanken beseitigt zu haben; muss vielmehr anerkennen, dass hierin erst Anknüpfungspuncte zu genaueren, allgemeineren und sicherern Feststellungen gegeben sind.

XLVIII. Zusätze.

a) Zusatz bezüglich eines im 30. Kapitel vorgeschlagenen Versuches.

Den im 30. Kapitel S. 174 vorgeschlagenen Versuch zur Ermittelung, ob zwei gleiche und gleich stark angeschlagene Saiten bei verschiedener Spannung und mithin Tonhöhe gleich intensiv tönen, habe ich seitdem selbst angestellt; jedoch leider ohne entscheidenden Erfolg. Ich theile aber das Wesentliche davon mit, da

vielleicht Andere durch den Fehlschlag dieser Versuche auf bessere Anstellungsweisen desselben geleitet werden können.

Auf dem Monochord des hiesigen physikalischen Kabinets, was mir Prof. Hankel, dem ich überhaupt wegen der Unterstützung bei diesen Versuchen zu besonderem Danke verpflichtet bin, zur Disposition stellte, waren 4 Stahlsaiten, je zwei von gleicher Beschaffenheit, neben einander horizontal ausgespannt. Die unverkürzt schwingende Länge derselben betrug bei allen 1,52 Meter. Zwei, mit *d* (dünn) zu bezeichnende, hatten nahe 0,4 Mill., die beiden anderen, mit *D* (dick) zu bezeichnenden, zwischen 0,7 und 0,8 Mill. Dicke. Sowohl von den Saiten *d* als *D* ward je eine um 1 Octave höher als die andere gespannt.

Der Anschlag der beiden zu demselben Paare gehörigen Saiten geschahe bei einigen Versuchen durch besonders dazu hergerichtete gleiche messingene Hämmer, welche aus gleicher Höhe auf beide Saiten herabschlugen und beim Rückpralle mit der Hand gefangen wurden*); in anderen, nach einem Vorschlage von Volkmann, zweckmässiger durch Kugeln, welche aus schief gegen die Saiten gestellten Rinnen auf die Saiten herabrollten und von selbst absprangen. Der Anschlag geschahe beidesfalls in einer, einige Zoll betragenden, gleichen Entfernung vom Ende beider Saiten.

Die beiden Hämmer waren in demselben Gestelle an dem einen Ende des Monochordes, einander parallel und in gleicher Richtung mit den Saiten, angebracht, so dass sie nach deren Längsrichtung ein paar Zoll weit vom Ende des Monochordes über dieselben griffen. Die in einem Brete ausgehöhlten, einander parallelen, Rinnen waren ebenfalls nach der Längsrichtung der Saiten, schief gegen dieselben, die Längsaxen der Rinnen dem Saitenabstande entsprechend, oberhalb des Monochordes angebracht, so dass das untere Ende derselben sich nur wenig über den Saiten erhoben fand. Die Stärke des Anschlages liess sich dann leichter als mittelst der, auf eine bestimmte Hebungshöhe eingerichteten, Hämmer durch die Schiefe der Rinnen und den Punct, von dem aus man die Kugel rollen liess, reguliren. Die abspringenden Kugeln wurden in einem vorgelegten Tuche aufgefangen.

Die Tonhöhe der Saiten wurde durch Vergleich mit einer Stimmgabel bestimmt, welche das (zwischen den Notenlinien enthaltene) einmal gestrichene *b* gab. Von den Saiten *d* stimmte die tiefere bei Verkürzung auf $\frac{1}{8}$ merklich mit der Gabel überein, war

*) Sie sollten noch beledert werden, indess schien nach einigen vorläufigen Versuchen die Anwendung der Kugeln überhaupt räthlicher.

also unverkürzt 3 Octaven tiefer; von den Saiten *D* stimmte die tiefere bei Verkürzung auf $\frac{1}{9}$ bis $\frac{1}{10}$ mit der Gabel überein.

Es zeigte sich nun bei den unverkürzten Saiten *d* sowohl mit den Hämmern als Holz- und Elfenbeinkugeln bei sanfter Neigung der Rinnen gegen den Horizont die hohe Saite in starkem Uebergewichte gegen die tiefere, welche verhältnissmässig klanglos dagegen erschien; auch bestand diess Uebergewicht sowohl in der Nähe bei starkem Tone, als bei Entfernung und nöthigenfalls partiellem Ohrenverschluss, indem der tiefe Ton nur noch schwach oder gar nicht mehr gehört wurde, wenn der hohe noch deutlich war.

Auch bei den unverkürzten Saiten *D* fand das Uebergewicht der hohen Saite in der Nähe und Ferne noch statt, wenn derselbe mässige Anschlag als bei den Versuchen mit der Saite *d* angewendet wurde. Aber der Unterschied war nach meinem eigenen wie dem Urtheile aller Mitbeobachter entschieden geringer, so dass sich wohl denken liess, er werde bei einer noch passendern Dicke der Saiten ganz verschwinden. Es bedurfte aber hiezu keiner Abänderung der Dicke. Denn als die Rinnen steiler gestellt wurden, so dass die Kugel mit grösserer Kraft vom obersten Ende auf die Saiten rollte, wurde der Unterschied der Stärke zwischen der hohen und tiefen Saite zweideutig. Auch hierin stimmte das Urtheil Anderer mit dem meinigen überein.

Es wurde nun, während bei den vorigen Versuchen der Anschlag der hohen und tiefen Saite gleich war, der Anschlag beider Saiten *D* so verschieden gemacht, dass der Ton gleich intensiv oder vielmehr der Unterschied zweideutig erschien. Ich stellte mich hinter ein Hinderniss so gegen den Apparat, dass ich denselben nicht sehen konnte, der Ton aber stark gehört wurde, und ein Mitbeobachter änderte die Höhe, aus der er die Kugeln herabrollen liess, so lange für beide Saiten ab, bis ich durch meinen Zuruf den Unterschied der Intensität für zweideutig erklärte. Hiebei bestätigte sich das vorige Resultat. Bei sanfter Neigung der Rinnen, mithin mässig starkem Anschlage, musste die Elfenbeinkugel längs der ganzen Länge der Rinne nach der tiefgestimmten Saite herablaufen, indess sie nach der hochgestimmten nur ungefähr längs der halben herablief, um den Intensitätsunterschied zweideutig zu finden. Bei viel steilerer Stellung der Rinnen ward der Unterschied zweideutig, wenn die Kugel nach beiden Saiten

längs der ganzen Länge der Rinnen herablief; ja es schien selbst die tiefere Saite nun eines etwas kürzeren Weges zu bedürfen. Sowohl bei der sanften als steilen Neigung wurde der Versuch zweimal mit entsprechendem Resultate wiederholt. Wurden aber bei der steilen Neigung die Kugeln von einem sehr niederen, für beide Saiten gleichen Puncte der Rinnen herabrollen gelassen, so gewann die Intensität der hohen Saite wieder ganz entschieden das Uebergewicht. Die Neigungen der Rinnen sind dabei zu messen versäumt worden; ihre Angabe könnte aber auch nichts nützen, da absolute Bestimmungen aus diesen Versuchen überhaupt nicht hervorgehen.

Ein Mitbeobachter stellte mit mir zugleich diesen Versuch an. Dabei zeigte sich das Merkwürdige, dass er ganz constant den hohen Ton verhältnissmässig intensiver als ich schätzte, indem er bei einem Puncte, wo ich den Intensitäts-Unterschied zwischen hohem und tiefem Tone zweideutig fand, ausnahmslos den hohen Ton noch für intensiver erklärte, und selbst, wenn ich schon den tiefen Ton ein wenig intensiver fand, den hohen für noch etwas überwiegend erklärte. Auch fand sich dieser Unterschied der Auffassung noch in einigen anderen gelegentlichen Versuchen wieder. Im Uebrigen fand er den Unterschied des Erfolges zwischen den Saiten *D* und *d* und den Unterschied zwischen der sanften und steilen Neigung der Rinnen in demselben Sinne als ich und als die anderen Beobachter.

Dass nun bei stärkerem absoluten Anschlage die tiefe Saite relativ intensiver zu tönen beginnt, könnte als ein Beweis für die Uebertragbarkeit des im Gebiete der Lichtempfindung erwiesenen Helmholtz'schen Satzes (Th. II. S. 176) auf Töne angesehen werden. Allein dann hätte durch Abschwächung des Tones mittelst Entfernung und Ohrverschluss der hohe Ton wieder überwiegend werden müssen, was durchaus nicht constatirt werden konnte. Eben so spricht gegen diese Auffassung folgender Umstand.

Da mit wachsender Stärke des Anschlages Seitens der Elfenbeinkugel das Uebergewicht des hohen Tones abnahm und selbst zweideutig wurde, so hätte man meinen sollen, dass bei Vertauschung der Elfenbeinkugel mit einem hohlen Gummiballe, zumal bei Herabrollen von einem niederen Puncte, vermöge des schwachen Anschlages, der hiebei entsteht, der hohe Ton um so mehr ins Uebergewicht hätte kommen müssen. Aber im Gegentheile trat

hiebei unerwartet der tiefe Ton in entschiedenes Uebergewicht, nach meinem eigenen und aller Mitbeobachter Urtheile.

Die hohlen Gummibälle würden sich, da sie den reinsten Ton geben, überhaupt am meisten zu diesen Versuchen empfohlen haben, wenn sie ohne hohe Naht zu erhalten wären. Diese aber macht, dass das Herabrollen in einzelnen Versuchen nicht recht vergleichbar ausfällt, wenn schon der allgemeine Erfolg im eben angegebenen Sinne völlig entscheidend war.

Es trat also je nach der Dicke der Saiten, der Stärke des Anschlags, dem Material des anschlagenden Körpers bald der hohe, bald der tiefe Ton ins Uebergewicht, so sehr, dass nicht einmal der Vermuthung eine bestimmte Richtung über das gesuchte Resultat blieb. Der Wechsel des Uebergewichtes schien hauptsächlich darauf zu beruhen, dass, je nachdem die Verhältnisse der Saite und des Anschlags besser oder schlechter zu einander stimmen, ein geringerer oder grösserer Theil von der lebendigen Kraft des Anschlags zur Hervorrufung eines den Ton begleitenden Geräusches verwendet wird.

Ich habe nur die, mit den unverkürzten Saiten angestellten, Versuche angeführt, welche am meisten vervielfältigt wurden; doch wurden auch verschiedene Versuche mit, durch Untersetzung eines gemeinsamen Steges verkürzten, Saiten angestellt; die aber eben so je nach Wechsel der Umstände variable Resultate gaben. Nun glaube ich zwar, dass man mit noch sorgfältiger ausgeführten Apparaten das Geräusch noch mehr beseitigen kann, aber es dürfte schwer sein, ein ganz reines Resultat zu erzielen.

Ich dachte daran, statt des Anschlags an Saiten das Anblasen einer mittelst eines Stempels zu verkürzenden Pfeife mittelst eines Luftstromes von constanter Stärke zu versuchen. Aber da bei Verkürzung über eine gewisse Gränze hinaus die Pfeife gar nicht mehr anspricht; so schien mir, dass auch hier eine entsprechende Schwierigkeit als bei den Saiten, nur in anderer Form, zu erwarten sein würde.

b) Zusatz über einige in die Psychophysik einschlagende neuere Untersuchungen von Helmholtz.

Die im zweiten Hefte der physiologischen Optik von Helmholtz jüngst erschienenen Untersuchungen, mir zugekommen, als

der 22. Bogen dieses Bandes im Drucke war, begegnen sich mehrseitig mit dem Inhalte dieser Schrift, theils übereinstimmend, theils abweichend; namentlich in Bezug: 1) des Masses der Lichtempfindung; 2) der Auffassung des Hebungsphänomens bei dem Contraste; 3) einer wichtigen optischen Hypothese. Indess die mit Recht so grosse Autorität Helmholtz's mich Gewicht auf die Puncte der Uebereinstimmung legen lässt, veranlasst sie mich zugleich, auf die scheinbaren oder wirklichen Puncte der Abweichung etwas näher einzugehen.

Den ersten Punct anlangend, so müssen natürlich die Gränzen des Weber'schen Gesetzes bei sehr geringen und sehr hohen Helligkeitsgraden, auf die ich im ersten Theile hingewiesen, auch einen Einfluss auf mittlere Grade erstrecken; oder genauer ausgedrückt, wenn das Gesetz an den Gränzen ganz ungenau ist, so kann es in den mittleren Graden nicht ganz genau sein. So lange jedoch in den Gränzen des gewöhnlichen Augengebrauches die Abweichung nicht spürbar war, war auch kein dringender Anlass, Correctionen oder Abänderungen desshalb in die auf jenes Gesetz gegründeten Formeln für den gewöhnlichen Gebrauch aufzunehmen, sondern man konnte sich bei der Approximation, die sie jedenfalls gewähren, begnügen, wie diess auch in den von Steinheil und Pogson bei den Sterngrössenschätzungen angewendeten Formeln geschehen ist, deren Beziehung zum Weber'schen Gesetze ich in den, Th. I. S. 139, angeführten zwei Abhandlungen näher dargelegt habe. In der That aber hat sich bei den bisherigen Beobachtungen von Bouguer, Arago, Masson, Steinheil, Volkmann, meinen eigenen, und bei den Sterngrössenschätzungen eine Abweichung vom Weber'schen Gesetze bei mittleren Helligkeitsgraden nicht als spürbar herausgestellt, was die Sicherheit gewährt, dass hier wirklich ein für mittlere Helligkeitsgrade approximativ gültiges Gesetz vorliegt. Indessen habe ich doch selbst schon in meiner ersten Abhandlung S. 513 f. so wie in dieser Schrift Th. I. S. 162 eine Erfahrung von Herschel als zu einer genaueren Untersuchung auffodernd angeführt, welche zu beweisen schien, dass für sehr geübte Augen unter günstigen Umständen Abweichungen auch wohl spürbar werden könnten, die unter anderen Umständen nicht spürbar werden; und dasselbe geht jetzt mit grösserer Bestimmtheit aus Helmholtz's neuen Untersuchungen im zweiten Hefte seiner physiologischen Optik

S. 309 ff. hervor, welche, wie es im Sinne des Einflusses ist, den die Gränzen des Gesetzes auf die Mitte äussern müssen, statt einer constanten relativen Empfindlichkeit, welche das Weber'sche Gesetz verlangt, für eine gewisse Intensität ein Maximum der relativen Empfindlichkeit gewähren; indess das Weber'sche Gesels »als eine erste Annäherung an die Wahrheit stehen bleibt,« wie sich Helmholtz selbst ausdrückt.

Wenn ich nicht irre, liegt der Grund, dass Helmholtz eine Abweichung vom Gesetze zwischen Gränzen erkannt hat, wo sie von einer Mehrzahl früherer Beobachter von gutem Namen nicht erkannt worden ist, darin, dass er überhaupt die kleinsten Lichtunterschiede erkannt hat, die bis jetzt erkannt worden sind, denn der kleinste erkennbare Unterschied variirt bei ihm zwischen $\frac{1}{117}$ und $\frac{1}{165}$ der Intensität, während die bisherigen Beobachtungen bei der Prüfung des Gesetzes nur $\frac{1}{64}$ bis $\frac{1}{100}$ ergeben haben, und die höchste Angabe, die überhaupt stattfindet, nach Arago $\frac{1}{131}$ ist (vgl. Th. I. S. 172). Es ist aber eine, wenn schon nicht an sich nothwendige, doch natürliche Voraussetzung, dass, wo die kleinsten Lichtunterschiede noch erkennbar sind, auch die kleinsten Unterschiede zwischen Lichtunterschieden noch wahrgenommen werden; und daher leicht denkbar, dass, wo das Auge oder Verfahren weniger empfindlich ist, als bei Helmholtz, die Approximation des Gesetzes noch zulänglich erscheint, die bei ihm nicht mehr zulänglich erschienen ist.

Principiell jedoch würde hier blos die Frage wichtig sein, ob durch die Helmholtz'sche Untersuchung die fundamentale Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes in der Art angegriffen ist, dass die Abweichungen an oberer und unterer Gränze, anstatt auf die von mir angegebenen Gründe geschoben werden zu können, in der Beziehung der Empfindung zur Bewegung selbst gesucht werden müssen. Diess ist durchaus nicht der Fall; vielmehr lässt sie in dieser Beziehung den von mir dargelegten Stand der Sache vollkommen bestehen. Die von mir Th. I. S. 163. 165 angegebenen Gründe der Abweichung an der oberen und unteren Gränze sind keine blos hypothetischen, sondern nicht minder factische, als die Abweichungen selbst; auch würde es an sich höchst unwahrscheinlich sein, dass die complicirte Form eines Gesetzes, die von Helmholtz mit vollem Rechte in einer Formel

substituirt worden ist, welche die Abweichungen mit aufzunehmen bestimmt ist, als Grundgesetz bestehen sollte.

Indem ich nun hinsichtlich des experimentalen Theiles der Helmholtz'schen Untersuchung auf seine eigene Schrift verweise, begnüge ich mich hier, die Formeln mitzutheilen, welche er zur Aufnahme der Abweichungen vom Weber'schen Gesetze denen substituirt, die auf das reine Weber'sche Gesetz zu stützen sind; wobei ich die Buchstabenbezeichnung in die übersetze, die in dieser Schrift gewöhnlich gebraucht ist.

Unsere auf das reine Weber'sche Gesetz gestützte Fundamentalformel ist

$$d\gamma = K \frac{d\beta}{\beta}$$

wo γ die Empfindung, β der Reiz, K eine von β unabhängige Constante ist. Zur Berücksichtigung der Abweichung nach unten substituirt Helmholtz (wie diess übrigens auch schon von mir im 25. und 31. Kapitel geschehen) für β den um eine Constante β_0 vermehrten Werth des Lichtreizes, und zur Berücksichtigung der Abweichung nach Oben setzt er die Constante K von β abhängig, indem er $K = \frac{a}{B+\beta}$ annimmt, wo B als sehr gross vorzustellen. Diess giebt als Fundamentalformel mit Rücksicht auf die Gränzen statt der obigen:

$$d\gamma = \frac{a}{(B+\beta)} \cdot \frac{d\beta}{(\beta+\beta_0)}$$

woraus durch Integration hervorgeht:

$$\gamma = \frac{a}{B-\beta_0} \log \left[\frac{\beta_0+\beta}{B+\beta}\right] + \text{Const.}$$

und hienach ein Maximumwerth von γ für $\beta = \sqrt{\beta_0 B}$ folgt.

Die Setzung von $K = \frac{a}{B+\beta}$ gründet sich auf die unstreitig formell berechtigte, wenn schon nach der Natur der obern Gränze vielleicht sächlich nicht ganz zutreffende, Annahme der einfachsten Functionsform von β, bei der man natürlich stehen zu bleiben hat, so lange die Erscheinungen keinen bestimmten Widerspruch erheben. Meinerseits liesse sich nur noch hinzufügen, dass die Helmholtz'sche Formel, um vom Masse der Lichtempfindung auf das Mass der Empfindung von Lichtunterschieden übertragbar zu werden, eben so wie die Formeln von Steinheil und Pog-

son, noch der Einführung der Unterschiedsschwelle in der, im 24. Kap. angegebenen, Weise bedürfen würde.

Aufrichtig erkenne ich in der Untersuchung von Helmholtz einen Fortschritt an, den die Psychophysik im Gebiete der Lichtlehre durch diesen ausgezeichneten Forscher erfahren hat, und kann nichts mehr wünschen, als dass sie durch weitere derartige Fortschritte an Bestimmtheit und Entwickelung mehr und mehr gewinne. Wenn aber noch vor Erscheinen seiner Untersuchung das Gerücht zu mir gelangt war, dass Helmholtz die mathematische Grundlage meiner Psychophysik darin angegriffen habe, so kann hierin wohl nur ein Missverstand liegen, dem ich mit Vorigem und dem, was ich mit Absicht desshalb im Vorworte hervorgehoben, auch für die Zukunft zu begegnen wünschte; wenigstens kann ich selbst in seiner eigenen Darstellung nichts der Art finden. Nur dann würde diess der Fall sein, wenn die principielle Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes oder das noch allgemeinere Massprincip, worauf sich diese Schrift in letzter Instanz stützt, dadurch in Frage gestellt wäre; statt dessen sehe ich in Helmholtz's Untersuchung die erste factische Anerkennung eines auf diess Princip gestützten Empfindungsmasses; denn, wenn schon darauf bezügliche Formeln früher bestanden, hat man ihnen doch nicht diese Bedeutung beigelegt.

Der zweite Punct bezieht sich auf die, für die Empfindungslehre überhaupt und die mathematische Behandlung der Empfindung von Unterschieden insbesondere wichtige Frage, ob die Hebung der Eindrücke durch den Contrast blos auf einem Acte des Urtheiles oder auch auf einer Abänderung der Empfindlichkeit beruhe. Ich habe mich in diesem Theile S. 106 für die zweite Alternative erklärt; finde aber, dass sich Helmholtz in seiner neuen Untersuchung (S. 392. 406. 414) bezüglich der Hebungsphänomene beim simultanen Contrast für die erste erklärt. Die Gründe für meine Auffassung, welche mir auch jetzt noch im Uebergewichte scheinen, findet man in meiner, im Vorworte angezeigten, Abhandlung über Contrastempfindung angeführt, worauf ich mich begnüge, hier zu verweisen, mit der Bemerkung, dass durch die Versuche und Erörterungen von Helmholtz doch die wesentliche Mitwirkung eines Urtheilsactes sicherer und in weiterem Umfange als seither erwiesen ist.

Dieser Abweichung bezüglich des zweiten Punctes gegenüber

war mir um so willkommener das Zusammentreffen mit Helmholtz bezüglich des dritten. Die Hypothese, dass objectiv einfache Farbestralen doch im Auge ein subjectives Farbengemisch hervorrufen (Th. II. S. 301), hatte ich, so nothwendig sie mir aus verschiedenen Gesichtspuncten erschien, doch nicht ohne Zögern aufzustellen gewagt; dieselbe Hypothese finde ich aus, zum Theil mit den meinigen zusammenstimmenden, Gesichtspuncten durch Helmholtz vertreten, und die Unabhängigkeit der beiderseitigen Aufstellung dürfte beitragen, sie zu unterstützen. Die Form, unter welcher Helmholtz dieselbe (mit Rückgang auf Young's Hypothese von drei Arten Nervenfasern, welche respectiv drei Grundfarben empfinden) aufgestellt hat, weicht allerdings wesentlich von derjenigen ab, in welcher ich dieselbe vorgetragen habe; aber die Abweichung hält sich in einem Gebiete, in welchem die Vermuthung den Schluss ergänzen muss, so dass ein Streit darüber fast müssig, weil vor der Hand kaum zu entscheiden sein würde. Doch wird man leicht aus dem Zusammenhange erkennen, was mich auf die von mir bevorzugte Form geführt hat und noch daran festhalten lässt; wobei ich aber weit entfernt bin, in diesem Zusammenhange einen Beweis zu sehen.

Register der in dieser Schrift gebrauchten neuen oder besonders definirten Ausdrücke.

Die römischen Ziffern beziehen sich auf den Band, die deutschen auf die Seite.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

Berichtigungen.

Zu Band I.

S. 22 Z. 14 v. u. statt Σmc^2 lies Σmv^2.
- 166 - 2 v. o. st. Phänomen l. Phänomene.
- 205 - 3 v. u. st. 0,02734 l. 0,002734.
- 221 - 12 v. o. st. $\mu = 1$ l. $\mu = 2$.
- 221 - 7 v. u. st. 1000 l. 1400.
- 229 - 2 v. o. st. 97,1 l. 79,1.
- 278 - 2 v. o. st. 0445 l. 0,445.
- 296 - 19 v. o. st. e) l. c).

Zu Band II.

S. 257 Z. 17 v. o. statt Intensitätsansicht lies Identitätsansicht.
- 283 - 5 v. u. st. auch l. nach.
- 354 - 20 v. o. st. 20 l. 25.
- 360 - 19 v. o. st. 2,728 l. 2,718.
- 370 - 17 v. o. st. $\frac{\Sigma\Delta}{\sqrt{m}}$ l. $\frac{S\Delta}{\sqrt{m}}$.
- 372 - 6 v. o. st. $\Sigma\Delta$ l. von $\Sigma\Delta$.
- 380 - 3 v. o. st. des Endgliedes l. der Endglieder.

